



Европейская экономическая комиссия

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

**Руководящий орган Совместной программы
наблюдения и оценки распространения
загрязнителей воздуха на большие
расстояния в Европе**

Рабочая группа по воздействию

Седьмая совместная сессия

Женева, 13–16 сентября 2021 года

Пункт 2 предварительной повестки дня

**Ход осуществления деятельности по линии Совместной
программы наблюдения и оценки распространения
загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе
в 2021 году и будущая работа**

Пункт 7 предварительной повестки дня

**Совместное тематическое заседание: вклад научных органов
в обзор достаточности и эффективности Протокола о борьбе
с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном**

Пункт 10 предварительной повестки дня

**Ход осуществления деятельности в 2021 году и дальнейшее
развитие деятельности, ориентированной на воздействие**

Совместный промежуточный доклад о вкладе научных органов в обзор Протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 2021 года*

**Записка, подготовленная председателями Руководящего органа
Совместной программы наблюдения и оценки распространения
загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе и Рабочей
группы по воздействию в сотрудничестве с секретариатом**

Резюме

Настоящий доклад был подготовлен Президиумом расширенного состава Рабочей группы по воздействию^a и Президиумом расширенного состава Руководящего органа Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе^b в сотрудничестве с секретариатом Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие

* Настоящий документ до его передачи в службы письменного перевода Организации Объединенных Наций не редактировался.



расстояния. Обзор последних результатов научных исследований, подготовленный на основе информации, которая была передана странами-руководителями и программными центрами международных совместных программ в соответствии с вопросами, перечисленными в документе ECE/EB.AIR/2020/3-ECE/EB.AIR/WG.5/2020/3 для подготовки обзора Протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (Гётеборгского протокола).

^a Включает в себя Президиум Рабочей группы; председателей целевых групп международных совместных программ (МСП), Совместной целевой группы по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека; и представителей программных центров МСП.

^b Включает в себя Президиум Руководящего органа, председателей целевых групп Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП) и представителей центров ЕМЕП.

I. Введение

1. Настоящий доклад был подготовлен председателями Руководящего органа Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП) и Рабочей группы по воздействию в связи с обзором Протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол) с внесенными в него поправками, к которому приступил Исполнительный орган на его тридцать девятой сессии (решение Исполнительного органа 2019/4, Женева, 9–13 декабря 2019 года). В докладе обобщена наиболее точная имеющаяся информация о наблюдаемых и прогнозируемых тенденциях в отношении последствий¹ подкисления, эвтрофикации и загрязнения озоном, включая прогресс, достигнутый в области выбросов, атмосферного переноса и разработки моделей для комплексной оценки. Данный доклад является седьмым общим докладом о работе в рамках Руководящего органа ЕМЕП и Рабочей группы по воздействию, отражающим новый порядок работы этих двух органов, которые теперь проводят совместные объединенные сессии на основе общей повестки дня. Эти совместные доклады отражают дальнейшую интеграцию научной работы в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (Конвенции) и должны рассматриваться как вклад в укрепление научной базы для разработки политики, проводимой в рамках Конвенции.

II. Воздействие загрязнения воздуха на здоровье человека

2. В ходе недавно проведенного анализа концентраций озона было выявлено, что сокращение выбросов привело к снижению пиковых концентраций озона, однако в действительности концентрация озона уменьшилась не во всех странах, а в сельских районах она выше, чем в городах. Ожидается, что в третьем квартале 2021 года будут опубликованы новые Рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по качеству воздуха (РКВ), включая также новые рекомендованные значения по концентрации озона (O₃). Информация о воздействии озона на население в прошлом и в настоящее время была получена в Европейском агентстве по окружающей среде (ЕАОС); в частности, она содержится в докладе «Качество воздуха в Европе — доклад за 2020 год»². Данная информация касается главным образом 28 стран — членов Европейского союза, населения, проживающего в районах, которые подвержены воздействию концентраций O₃ по сравнению с пороговым контрольным значением, установленным в Европейском союзе, а также с РКВ ВОЗ. Кроме того, имеются оценки воздействия на все население Европы (не только городское) в 2018 году и данные об изменениях, которые произошли с течением времени. Для получения соответствующей информации необходимо обратиться в ЕАОС.

3. Для тонкодисперсного вещества (PM_{2,5}) имеются оценки уровня смертности (случаев преждевременной смерти) на основании базы данных ВОЗ по качеству атмосферного воздуха; самые последние оценки основаны на данных за 2016 год и включают показатели ГЖПИ. Новые оценки будут получены позднее в 2021 году в рамках отчетности по достижению Целей в области устойчивого развития (ЦУР) (показателя смертности в результате загрязнения воздуха). Оценки преждевременной смертности и потерянных лет жизни получены из докладов ЕАОС. Прослеживается тенденция к снижению уровня смертности, вызванной исследуемым воздействием, в связи с уменьшением концентрации загрязнителей воздуха, однако в некоторых районах все еще наблюдаются пиковые значения, например, поя диоксиду азота в районах, прилегающих к транспортным магистралям. Демографические данные и сведения о продолжительности жизни взяты из базы данных Евростата, а данные о смертности — из базы данных ВОЗ; взаимосвязь «воздействие — реакция» и население, подверженное риску, соответствуют рекомендациям, вынесенным в

¹ Более подробная информация о вкладе Рабочей группы по воздействию в обзор Гётеборгского протокола представлена в неофициальном документе по пункту 7 повестки дня.

² См. URL: www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report.

рамках проекта по рискам для здоровья от загрязнения воздуха в Европе (HRAPIE). На двадцать четвертом совещании Совместной целевой группы по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека (Целевой группы по здоровью; в режиме онлайн 10–11 мая 2021 года), участники обсудили план работы на 2022–2023 годы, включая работу над методами оценки риска/воздействия загрязнения воздуха на здоровье и анализа затрат и выгод, в качестве последующей деятельности в целях развития проекта HRAPIE.

4. Что касается других показателей здоровья, таких как заболеваемость, запущен новый проект по оценке заболеваемости в результате загрязнения воздуха и соответствующих экономических потерь. Цель данного проекта заключается в разработке методики для оценки потерь, обусловленных заболеваемостью в результате загрязнения воздуха (в отношении населенных пунктов, для которых имеются соответствующие статистические данные в области здравоохранения) и функций «концентрация — реакция», которые связаны с заболеваемостью. Ожидается, что результаты будут получены в 2022 году. Во втором докладе «Перспективы чистого воздуха» содержатся прогнозируемые тенденции, связанные с заболеваемостью, на основе данных, имеющихся в Центре ЕМЕП по разработке моделей для комплексной оценки. Чтобы оценить возможность разработки сценариев, необходимы последующие действия в рамках скоординированных усилий нескольких целевых групп.

5. Новые научные данные лягут в основу издания новых РКВ ВОЗ, в которых будет содержаться перечень обновленных рекомендованных значений для РМ, диоксида азота, двуокиси серы (SO₂), приземного озона и монооксида углерода. Ожидается, что новые РКВ ВОЗ будут изданы в третьем квартале 2021 года. Кроме того, они лягут в основу технического доклада о влиянии полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на здоровье человека, включая обзор выбросов и воздействия ПАУ, а также канцерогенного и неканцерогенного воздействия присутствующих в воздухе ПАУ. Ожидается, что данный доклад будет издан в 2021 году. Наибольшее значение будут иметь научные исследования в направлениях, связанных с уточнением результатов работы над формой функций «воздействие — реакция», важной ролью также воздействия низких уровней концентрации на здоровье, проблемой воздействия, связанного не только с одним, а с несколькими загрязнителями. Благодаря работе по изучению структуры распределения источников концентраций можно будет получить новую информацию для совершенствования расчета показателей заболеваемости. Кроме того, в работе по изучению экономических последствий загрязнения воздуха будут использоваться выводы и результаты исследований, издаваемых специалистами.

III. Воздействие загрязнения воздуха на материалы

6. Анализ наблюдаемых тенденций указывает на то, что с начала 1990-х годов коррозия и загрязнение значительно уменьшились, при этом основное снижение произошло примерно в 1997 году: сначала произошло резкое сокращение, которое затем сменилось более умеренным снижением или вовсе прекратилось, когда соответствующие значения оказались на постоянном уровне и не проявили тенденции к снижению. Уровень SO₂, коррозия углеродистой стали и меди уменьшились даже после 1997 года, что более заметно в городских районах, в то время как снижение показателей коррозии других материалов после 1997 года не наблюдается, если рассматривать значения за один год. Однако, если провести анализ значений за четыре года, то после 1997 года наблюдается значительное уменьшение показателей коррозии цинка, которое не выявляется при анализе значений за один год. В некоторых европейских районах до сих пор наблюдаются случаи, когда значения коррозии превышают допустимые уровни.

7. Что касается загрязнения, то после 1997 года не наблюдается тенденции к снижению, и, следовательно, на более обширной территории в Европе уровень загрязнения превышает допустимый, поэтому основное внимание в рамках будущей разработки программы уделяется воздействию новых загрязняющих материалов,

например, рулонных материалов с покрытием и каменных материалов. Основным источником загрязнения материалов являются твердые частицы.

8. Для прогнозирования динамики изменений необходимо иметь возможность проведения анализа на основе существующих функций «доза — реакция», используя данные о загрязнении и климате для различных сценариев. Однако в настоящее время такая информация отсутствует, и до тех пор, пока такие данные не появятся, Международная совместная программа по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая памятники истории и культуры (МСП по материалам) располагает данными тематического исследования, проведенного на пяти исторических и культурных памятниках в Италии, для оценки воздействия на материалы в результате сокращения выбросов, требуемого в соответствии с новой Национальной директивой Европейского союза о предельных значениях выбросов (НДПЗВ), на основе прогнозов качества воздуха, полученных с помощью итальянской национальной модели AMS-MINNI для 2020 и 2030 сценарных годов и существующих функций «доза — реакция». Были рассмотрены два различных сценария выбросов: сценарий, включающий все меры, предусмотренные в рамках действующего национального законодательства (с мерами, СМ), и сценарий с дополнительными мерами (СДМ) для достижения целей в период до 2030 года. Ожидаемое снижение концентрации атмосферных загрязнителей в Италии к 2030 году может привести к уменьшению скорости образования поверхностных полостей на известняковых материалах и загрязнения непрозрачных (известняковых) и прозрачных (стеклянных) поверхностей, что позволит увеличить периодичность очистки. В целом не следует ожидать значительного сокращения скорости коррозии меди.

IV. Воздействие загрязнения воздуха на наземные экосистемы

A. Леса

9. Несмотря на то что в настоящее время на многих контрольных участках Международной совместной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса (МСП по лесам) объем осаждения неорганического азота, проникающего сквозь полог леса, является высоким, в период с 2000 по 2015 год, как показывают измерения, на большинстве контрольных участков произошло очевидное снижение. Сокращение было наибольшим на контрольных участках с высоким уровнем загрязнения. В период с 2000 по 2015 год на одной трети контрольных участков с наиболее высоким первоначальным (2000–2004 годы) уровнем осаждения под пологом леса произошло медианное снижение на 24 %, в то время как на одной трети участков с наиболее низким первоначальным уровнем осаждения сквозь полог леса наблюдалось уменьшение, соответственно, на 16 %. Еще одной отличительной особенностью является то, что на многих контрольных участках объем осаждения нитратов сквозь полог леса снизился быстрее, чем объем осаждения аммония: в период с 2000 по 2015 год осаждение нитратов уменьшилось на 26 %, а аммония — на 18 %. Долгосрочные измерения, проведенные в рамках МСП по лесам, показывают, что между применением мер по сокращению уровня выбросов и изменением кислотности почвенного раствора существует длительный промежуток времени. Более того, эвтрофирующее или подкисляющее воздействие осаждения неорганического азота и серы привело к нарушению баланса в питании деревьев во всех районах Европы, которое кратко описано ниже. В течение последних десятилетий во многих районах Европы наблюдалась положительная динамика роста деревьев. Повышение уровня азотных осадений являлось одним из факторов, которые способствовали более интенсивному наблюдаемому росту деревьев. Более интенсивное развитие деревьев приводит к увеличению потребности в фосфоре и катионах-основаниях. На контрольных участках с высоким уровнем загрязнения азотом наблюдается менее интенсивный рост деревьев. Кроме того, имеются подтверждения того, что высокий уровень осаждения азота оказывает воздействие на состав наземной лесной

растительности, а также на эктомикоризные сообщества, которые играют важнейшую роль в обеспечении деревьев фосфором и другими элементами; высокая азотная нагрузка приводит к подкислению, т. е. истощению катионов-оснований.

10. Анализ данных о состоянии листвы, собранных на контрольных участках МСП по лесам, подтвердил, что из-за повышенного уровня осаждения азота во многих лесах наблюдается переход от ограничения азота к ограничению фосфора. Кроме того, предполагается, что нарушение баланса питательных веществ может повлиять на устойчивость европейских лесов к изменению климата и их способность поглощать углерод.

В. Облесенные водосборы

11. В рамках Международной совместной программы по комплексному мониторингу воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП по комплексному мониторингу) водосборные бассейны все чаще реагируют на сокращение выбросов и осадений азота (N) в Европе. В период с 1990 по 2017 год преимущественно наблюдалась тенденция к снижению уровня концентрации общего неорганического азота (ОНА) в поверхностном стоке (76 % участков, средний уклон $-0,48$ микроэквивалентов на литр в год ($\text{мкэкв л}^{-1} \text{год}^{-1}$), а для потоков 69 % участков (средний уклон $-0,21$ $\text{мкэкв м}^{-2} \text{год}^{-1}$) соответственно. Снижение концентрации нитратов и аммония (NO_3 и NH_4) было значительным, составив 59 % ($-0,36$ $\text{мкэкв л}^{-1} \text{год}^{-1}$) и 36 % ($-0,05$ $\text{мкэкв л}^{-1} \text{год}^{-1}$) участков, однако снижение в потоках было значительным лишь на 25 % ($-0,18$ $\text{мкэкв м}^{-2} \text{год}^{-1}$) участков и 31 % ($-0,04$ $\text{мкэкв м}^{-2} \text{год}^{-1}$) участков соответственно. С начала 2000-х годов понижающие тенденции выбросов серы и азота и соответствующее сокращение их содержания в осадениях и поверхностном стоке оказались менее выраженными. Была выявлена значительная отрицательная корреляция между годовым изменением концентраций и потоков ОНА в стоке и средними потоками ОНА под пологом леса, общими концентрациями азота и соотношениями азота и фосфора в листве и подстилке, а также общими концентрациями азота и потоками в почвенных водах. Результаты также показали, что на наиболее затронутых азотом участках с наибольшими осадениями азота на лесную почву и наибольшими концентрациями азота в листве, подстилке, сточных и почвенных водах отмечено наиболее выраженное снижение ОНА в стоке.

12. Для оценки выгод от регулирования на законодательном уровне сокращения осадений азота в подлеске на основе высококачественных долгосрочных данных об осадении, климате, химическом составе почвы и растительности подлеска были проведены исследования на 23 лесных участках, включенных в европейские сети МСП по комплексному мониторингу, МСП по лесам и Программе долгосрочных исследований экосистем в Европе (eLTER). Была применена динамическая почвенная модель в сочетании со статистической моделью анализа ниш растительных видов и с учетом климата и осадений на участках. В целях сравнительного анализа наблюдений в настоящее время и прогнозов на 2030 и 2050 годы использовались показатели осадения азота и последствия потепления климата, такие как изменение в ареале олигофильных (произрастающих в условиях с низким содержанием питательных веществ), ацидофильных (произрастающих в условиях высокой кислотности) и холодостойких видов растений. Как ожидалось, уменьшение осадений N в результате реализации принятых на законодательном уровне целей по сокращению выбросов до 2030 года не должно было приводить к сокращению масштабов эвтрофикации. Хотя в ходе составления прогнозов с помощью моделей была выявлена значительная неопределенность по сравнению с наблюдениями, они указывают на дальнейшее сокращение олигофильных видов растений в подлеске. Отчасти данный результат объясняется сопутствующими процессами, связанными с воздействием изменения климата и значительным снижением осадения серы и последующим восстановлением после подкисления почвы, однако он показывает, что снижение объема осадения азота в результате принятых на законодательном уровне норм, скорее всего, будет недостаточным для восстановления после эвтрофикации.

Кроме того, как показали результаты, для того чтобы произошло восстановление после продолжительного воздействия интенсивного осаждения N, необходимы гораздо более существенные сокращения выбросов окисленного и восстановленного N.

13. Исследования, проведенные в рамках МСП по комплексному мониторингу, показали полезность системного подхода при анализе комплексного воздействия климата и загрязнения воздуха на экосистемные процессы и реакцию биоразнообразия в будущем. Объединенный набор данных, полученных на 26 лесных участках, относящихся к находящимся на территории Европы сетям МСП по комплексному мониторингу, МСП по лесам и eLTER, был использован в серии моделей. Были смоделированы основные свойства почвы: pH почвенного раствора, насыщенности основаниями (НО), а также значений соотношения почвенного органического углерода и почвенного азота (C:N) с учетом прогнозируемых почвенных осадений N и S и изменения климата до 2100 года. Смоделированные почвенные условия в будущем улучшились в связи с прогнозируемым сокращением осадений при текущих климатических условиях: были получены более высокие значения pH, НО и соотношения C:N на 21, 16 и 12 участках из 26 соответственно. Когда учитывались данные прогнозов изменения климата, значение pH почвы возрастало в большинстве случаев, в то время как значения НО и соотношения C:N увеличивались примерно в половине случаев. Практически ни в одном сценарии, учитывающем фактор потепления климата, не получено снижения pH. Результаты моделирования также показали, что сокращение объемов осаждения азота по сценарию в рамках действующего законодательства, скорее всего, будет недостаточным для восстановления подлесочной растительности после повреждений в результате эвтрофикации. Для восстановления после продолжительного воздействия интенсивного осаждения N, необходимы гораздо более существенные сокращения выбросов окисленного и восстановленного N. Проведение этих исследований показывает важную роль, которую играют участки долгосрочного комплексного мониторинга в применении моделей, позволяющих прогнозировать реакцию почв, растительности и видов на многочисленные изменения в окружающей среде.

V. Воздействие загрязнения воздуха на водные экосистемы

14. Тенденции в изменении химического состава вод. Основные показатели подкисления, такие как кислотонейтрализующая способность (КНС), pH и токсичный алюминий, свидетельствуют о том, что в водах наблюдается процесс восстановления, на основе данных Международной совместной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на реки и озера (МСП по воде), которая включает данные с 1990 года примерно по 500 озерам и рекам Европы и Северной Америки. Выявленная динамика является следствием сокращения объемов осадений подкисляющих веществ, однако все более важными факторами изменений становятся изменения климата и землепользования. Крупные бедствия, такие как лесные пожары и нашествия насекомых, зачастую связаны с климатом и могут привести к повторному подкислению поверхностных вод.

15. На контрольных участках МСП по водам выявлено воздействие пандемии COVID-19. В долгосрочных рядах данных, полученных в ходе мониторинга окружающей среды высокогорных и субальпийских участков, расположенных в Италии и Швейцарии, в 2020 году было выявлено значительное снижение осаждения серы и окисленного азота, отклоняющееся от долгосрочной тенденции. Эти отклонения, скорее всего, являются следствием снижения выбросов в атмосферу оксидов азота вследствие уменьшения количества автотранспорта во время пандемии коронавирусного заболевания COVID-19. Также были отмечены некоторые улучшения в химическом составе воды, особенно в отношении нитратов, что говорит о том, что высокогорные, чувствительные к подкислению участки идеально подходят для отслеживания реакции пресной воды на происходящие быстрыми темпами изменения в химическом составе атмосферы.

16. Биологические реакции на воды с более низкой кислотностью. Данные, полученные в ходе мониторинга в Соединенном Королевстве Великобритании и

Северной Ирландии, демонстрируют биологические изменения, соответствующие реакции на химическое восстановление в некоторых, хотя и не во всех, подкисленных водоемах, в которых происходит процесс восстановления, в то время как данные из высокогорных озер, расположенных в Италии, не показывают ярко выраженных тенденций. В Соединенном Королевстве степень биологических изменений не отражает четкой взаимосвязи с пороговыми уровнями КНС, обычно используемыми для определения «критических пределов». Факторы, определяющие темпы биологического восстановления, недостаточно хорошо изучены, и не всегда ясно, какие организмы наиболее восприимчивы к кислоте. На контрольных участках МСП по водам происходит не только восстановление природной среды после подкисления, но и в большей степени ее обогащение химически активным азотом и потепление в результате изменения климата. Совокупность биологических сообществ после подкисления может в значительной степени отличаться от состояния до подкисления.

17. Азот. Осаждение азота снизилось меньше, чем серы, и остаются серьезные вопросы относительно его химического и биологического воздействия. Важными факторами, которые влияют на выщелачивание азота, увязывая загрязнение воздуха и воздействие химически активного азота в поверхностных водах, являются особенности климата и водосбора. Несмотря на то, что азот является одним из основных питательных веществ, фосфор зачастую является доминирующим фактором, определяющим продуктивность пресноводных экосистем. Однако появляется все больше данных, указывающих на то, что азот, полученный в результате его осаждения, может оказывать влияние на продуктивность пресноводных экосистем в озерах с низким содержанием биогенных веществ. Выщелачивание азота, осажденного из воздуха в поверхностные воды и ниже по течению в морские экосистемы, может также способствовать эвтрофикации морской среды, поскольку азот выступает в роли биогенного вещества-ограничителя в морской воде. Определение источников азота в водоемах (т. е. осаждения, сельского хозяйства или другого источника) играет важную роль в оценке результативности мер по сокращению выбросов азота в окружающую среду. Предварительные результаты, представленные в докладе о концентрации азота, свидетельствуют о том, что в настоящее время накапливаются важные данные, которые могут в дальнейшем послужить основой для руководства по эмпирическим критическим нагрузкам, разрабатываемого в рамках Рабочей группы по воздействию в настоящее время.

18. Программы мониторинга поверхностных вод, предусмотренные в рамках разных стратегических документов (Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, НДПЗВ, Рамочной директивы ЕС по воде (РДВ)) являются взаимодополняющими. Во многих европейских странах программы мониторинга поверхностных вод позволяют получить данные, имеющие важное значение для нескольких стратегических документов, таких как Конвенция, НДПЗВ и РДВ. В некоторых странах программа мониторинга в рамках НДПЗВ является более обширной, чем национальная программа мониторинга, которая представляет данные в МСП по водам, в то время как в других странах эти программы в основном одинаковы. В соответствии с РДВ установленный минимальный размер озера составляет 0,5 км², что превышает размер многих озер, которые расположены в верховьях рек и в отношении которых представлены данные в МСП по водам. Небольшие по размеру озера и водотоки, которые расположены в верховьях рек и не подвержены местным факторам воздействия, таким как сельское хозяйство или загрязнение из точечных источников, имеют ключевое значение для оценки факторов воздействия в региональном масштабе (загрязнения воздуха, изменения климата), например, в рамках Конвенции и НДПЗВ.

19. Различия между системами классификации подкисления поверхностных вод в разных странах могут препятствовать проведению достоверной сравнительной оценки экологического статуса в соответствии с РДВ на международном уровне. В Норвегии, Швеции и Финляндии физико-химические определения важной пороговой величины, определяющей достаточный и умеренный (т. е. приемлемый/неприемлемый) уровень подкисления водоемов, отличаются. Для разработки системы на основе КНС, которую можно использовать для согласования разных систем классификации, был применен набор химико-биологических данных, существующий в скандинавских странах.

VI. Критические нагрузки и уровни

A. Критические нагрузки

20. Международная совместная программа по разработке моделей и составлению карт критических уровней и нагрузок и воздействия, рисков и тенденций, связанных с загрязнением воздуха (МСП по разработке моделей и составлению карт) в тесном сотрудничестве с Координационным центром по воздействию (КЦВ) и Центром по динамическому моделированию (ЦДМ) проведет расчеты превышения критических нагрузок по подкислению и эвтрофикации в контексте процесса обзора Гётеборгского протокола. Обновленные критические нагрузки будут представлены к середине лета. Обновленные сведения могут включать в себя дополненные данные, предоставленные странами, и критические нагрузки, рассчитанные с помощью недавно обновленной справочной базы данных КЦВ. Расчет превышений будет основан на данных об осадениях, предоставленных Метеорологическим синтезирующим центром — Запад (МСЦ-Запад) и Центром по кадастрам и прогнозированию выбросов. Эта работа требует дополнительной координации для уточнения сроков представления данных и их наличия до сентября 2021 года. Она направлена на сравнение расчета превышений в период с 2000 по 2019 годы.

21. Кроме того, КЦВ возглавляет работу по обзору и пересмотру эмпирических критических нагрузок для азота. В этой связи в 2019 году был завершен обзор литературы, а в период с июня 2020 года по июнь 2021 года проведен процесс обновления в рамках обзорной работы под руководством 45 авторов, являющихся специалистами в данной области. В соответствии с объявленным графиком первый внутренний пересмотр будет завершен в июне 2021 года, а второй пересмотр внешними специалистами — к сентябрю 2021 года. Работа над справочным документом будет завершена в 2022 году, а проект резюме будет подготовлен для официального использования в ЕЭК к апрелю 2022 года.

22. ЦДМ возглавляет работу по разработке показателей изменения биоразнообразия и методов установления критических нагрузок по азоту в качестве биогенного вещества на основе биоразнообразия. В соответствии со своим планом работы на 2020–2021 годы ЦДМ готовит доклад о динамическом моделировании воздействия загрязнения воздуха на экосистемы, проведенном Рабочей группой по воздействию в отношении биогеохимии и биоразнообразия.

23. МСП по комплексному мониторингу провела расчеты превышения критических нагрузок (КН) по подкислению и эвтрофикации для конкретных участков, а также оценила взаимосвязь между временными рядами превышений КН и провела измерения данных на участках с помощью долгосрочных измерений (1990–2017 годы) в отношении химического состава суммарных осадений, осадков, проходящих сквозь крону деревьев (сквозных осадков), и поверхностного стока³. Временные изменения превышения КН указывали на более существенное сокращение осадений S по сравнению с N на этих участках (n = 17). Была выявлена взаимосвязь между рассчитанным превышением КН и измеренными концентрациями химических веществ и потоков в поверхностном стоке, а на большинстве участков с более значительным превышением КН, которое было выявлено ранее, наблюдалось более существенное снижение концентрации и потоков неорганического азота и Н⁺. На участках с более высоким суммарным превышением КН эвтрофикации (в среднем более 3 и 30 лет), как правило, наблюдался более высокий уровень концентрации ОН⁻ в поверхностном стоке. Полученные результаты подтверждают, что меры по борьбе с выбросами оказывают предполагаемое воздействие на превышение КН и влияние на экосистемы. Результаты также подтвердили взаимосвязь между превышениями КН и

³ См. Forsius, M., et al. 2021. Assessing critical load exceedances and ecosystem impacts of anthropogenic nitrogen and sulphur deposition at unmanaged forested catchments in Europe. *Science of The Total Environment* 753: 141791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141791>.

эмпирическим воздействием, что укрепляет доверие к методологии, используемой для расчетов КН в европейском масштабе.

24. Концепция целевой нагрузки является продолжением концепции критической нагрузки при поступлении загрязнения воздуха в экосистемы (Posch et al. 2019). Преимущество целевых нагрузок перед критическими заключается в том, что можно определить осаждение и конкретный отрезок времени (целевой год), когда критический (химический) предел больше не нарушается. Данная информация о темпах восстановления требует разработки динамических моделей. Целевые нагрузки в крупном региональном масштабе могут служить основой для разработки мер по сокращению объемов выбросов на основе воздействия. Оценка, проведенная в исследовании Posch et al.⁴, показала, что для обеспечения восстановления поверхностных вод от подкисления до 2050 года необходимы более существенные сокращения, чем те, которые установлены в Гётеборгском протоколе.

В. Критические уровни. Воздействие озона на растительность

25. Международная совместная программа по воздействию загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры (МСП по растительности) провела обзор воздействия атмосферного озона на сельскохозяйственные культуры и экосистемы и представила основную информацию, приведенную ниже.

26. В период после 1990 года произошли изменения в озоновом профиле. «Пиковые» значения снизились, в то время как «фоновая» концентрация увеличилась. В системе методов измерения на основе концентрации, в которых используются относительно высокие пороговые значения, такие как накопленное воздействие озона (свыше предельного значения 40 частей на миллиард (АОТ40), наибольшее внимание уделяется пиковым концентрациям. Научные данные подтвердили, что растительность реагирует на совокупное поглощение озона, отраженное в основанных на потоках показателях дозы озона при фотосинтезе (ДОФ) и что реакция одинакова, когда это происходит в виде «повышения фонового уровня» или «эпизодических пиковых уровней концентрации». Это означает, что воздействие озона на растительность может быть обнаружено в том числе и там, где критический уровень для АОТ40 не превышен.

27. Анализ смоделированных данных показывает лишь незначительное изменение в снижении урожайности пшеницы как в период с 1990 по 2010 год, так и в период с 2010 по 2030 год. В ходе моделирования воздействия озона на урожайность пшеницы совместно с Европейским тематическим центром по проблемам загрязнения атмосферного воздуха и предотвращению изменения климата ЕАОС было выявлено, что для Европы смоделированные расчеты АОТ40 показывают существенное сокращение потери урожая пшеницы в период с 1990 по 2000 год — с 18,2 % до 10,2 %, в то же время данные по потерям урожая, основанные на потоках (POD6СПЕС), не демонстрируют существенного изменения: т. е. потери составили 14,9 % в 1990 году по сравнению с 13,3 % в 2010 году соответственно. Снижение урожайности в процентном отношении (на основе показателя потока POD3IAM) было схожим в Европе и Северной Америке (приблизительно 6,6 % и 5,5 % в 2010 и 2030 годах соответственно), однако сокращение объемов производства было выше в Европе из-за удвоенного общего объема производства пшеницы в Европе. Следует отметить, что снижение урожайности в процентном отношении отличается в оценках в период с 1990 по 2010 год по сравнению с оценками в период с 2010 по 2030 год из-за различий в используемых показателях концентрации на основе потоков.

28. Восприимчивость к озону у разных видов неодинакова. Что касается сельскохозяйственных культур и деревьев, для наиболее точной оценки

⁴ См. Posch, M. et al. 2019. Dynamic modeling and target loads of sulfur and nitrogen for surface waters in Finland, Norway, Sweden, and the United Kingdom. *Environmental Science & Technology* 53(9): 5062-5070. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06356>.

прогнозирования воздействия следует использовать видовые модели (POD6SPEC). Как известно, к числу восприимчивых к озону сельскохозяйственных культур относятся пшеница (для которой имеется видовая модель) и фасоль (для которой такая модель отсутствует). В отношении полустественной растительности разница в восприимчивости к озону разных видов означает, что в будущем могут наблюдаться изменения в относительной численности видов из-за изменившейся конкуренции и возможного воздействия на биоразнообразие.

29. Точное моделирование воздействия озона на растительность требует параметризации взаимосвязи «доза — реакция» для каждого отдельного вида. В настоящее время существуют ограничения, связанные с имеющимися экспериментальными данными, для параметризации как компонента устьичного поглощения, так и компонента отзывчивости по урожайности. Существует множество видов (как сельскохозяйственных культур, так и деревьев и полустественной растительности), для которых в настоящее время такие сведения отсутствуют, даже для некоторых распространенных и важных с точки зрения торговли видов.

30. При загрязнении озоном оказывается воздействие на экосистемы и их функционирование. Научные знания о совокупных потоках озона (в том числе от действия низких концентраций озона) показывают воздействие на сельскохозяйственные культуры, деревья и экосистемы, которое включает рост и цветение (количество и сроки).

31. Текущие оценки риска воздействия озона на экосистемы сосредоточены на растительном компоненте. Как показывают проведение качественных оценок и имеющаяся информация, загрязнение озоном имеет гораздо более широкий спектр последствий, включая воздействие на почвенную биоту, а также прямое и косвенное влияние на другие трофические уровни, включая опыляющих насекомых. Такое воздействие на функционирование экосистем, как связывание С почвой, круговорот воды и питательных веществ в экосистемах или результативность использования ресурсов также имеет важное значение для оценки риска воздействия озона.

32. Существует взаимосвязь между загрязнением воздуха и изменением климата. Некоторые виды взаимодействия изменяют воздействие озона на растительность, например, ускорение фенологического развития при повышении температуры приводит к распусканию почек в более ранние сроки и, как следствие, к воздействию озона на растения в более ранний период весной, чем прогнозируют существующие модели. Изменения метеорологических условий и влажности почвы в связи с изменением климата изменяют потоки озона на растительность посредством влияния на устьичные отверстия, однако направление и степень изменений будут зависеть от разницы между оценкой условий и оптимальными условиями для каждого метеорологического параметра влажности почвы.

33. Всесторонний метаанализ имеющихся данных указывает на отсутствие значительной взаимосвязи между чувствительностью озона и показателем действия азота для пшеницы, что указывает на отсутствие необходимости корректировки критических уровней для озона для сельскохозяйственных культур в зависимости от азотной нагрузки. Загрязнение озоном может снизить результативность использования азота на уровне некоторых культур, например, пшеницы, сои и риса. В результате снижения эффективности применения азотных удобрений озон вызывает риск увеличения потерь азота из агроэкосистем, например, в результате выщелачивания нитратов и выбросов закиси азота. Таким образом, тропосферный озон может вызвать повышение содержания азота в ручьях и реках по сравнению с условиями чистого воздуха, однако возможный масштаб этого явления количественно не оценивался. Аналогичную модель можно наблюдать и для полустественной растительности, поскольку стимулирующее влияние азота на рост может постепенно утрачиваться при увеличении концентрации озона, а иногда и при увеличении выбросов закиси азота в почву.

34. Крупномасштабные исследования, проведенные на контрольных участках МСП по лесам, показали, что, несмотря на небольшое, но значительное в вегетационный период снижение уровня озона, критические уровни, основанные

на концентрации (АОТ40), на большинстве исследованных участков, особенно в Восточной и Южной Европе, были превышены. На этих участках повреждения листьев, вызванные озоном, были обнаружены у нескольких видов, в основном у широколиственных. Уровень восприимчивости к повреждениям, наносимых озоном, также зависит от вида и региона (например, в Греции вид *Sorbus torminalis* более восприимчив, чем *Fagus Sylvatica*). Последовательного влияния озона на рост и листопад на контрольных участках МСП по лесам, обнаружено не было, независимо от применяемого параметра озона. Проявление и тяжесть видимых симптомов воздействия озона зависит не только от уровня концентрации озона, но и от ряда других параметров окружающей среды, а также особенностей растительности, которые определяют устьичное поглощение. Мы предполагаем, что в результате изменения климата и воздействия биотических факторов (вредителей и заболеваний) вышеуказанные результаты, по-видимому, могут существенным образом измениться: однако это будет зависеть от конкретных условий на контрольном участке.

VII. Выбросы

A. Обзор кадастров выбросов

35. Для большинства представленных Сторонами кадастров применяемые методологии в целом соответствуют Руководству ЕМЕП/Европейского агентства по окружающей среде по инвентаризации атмосферных выбросов загрязняющих веществ (Руководству), а подготовка докладов в большинстве случаев соответствует Руководящими принципами представления данных о выбросах и прогнозах в соответствии с Конвенцией (ECE/EB.AIR/125). Что касается основных принципов обеспечения качества, можно сделать несколько выводов, описанных ниже.

36. Полнота: в 2020 году 48 Сторон представили кадастры выбросов в рамках Конвенции. За последние несколько лет охват представляющих информацию Сторон увеличился до 94 %. В ходе представления докладов в 2020 году полнота была неудовлетворительной для 17 Сторон, поскольку они либо не представили никаких данных, либо представили данные не по всем имеющим первоочередное значение загрязнителям, либо не представили полный временной ряд или данные о своей деятельности⁵.

37. Последовательность: последовательность временных рядов — это вопрос, который все еще часто встречается в ежегодных углубленных обзорах. Обычно речь идет о ранних годах временного ряда, и пересчеты зачастую не применяются последовательно в течение многих лет.

38. Точность: точность — это вопрос, который зачастую встречается в углубленных обзорах. В целом точность выше для основных загрязнителей и РМ_{2,5}, чем для тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей (СОЗ). Распространенным вопросом, связанным с точностью, является использование методов, относящихся к уровню 1, для какой-либо ключевой категории.

39. Прозрачность: основным элементом для обеспечения высокого уровня прозрачности кадастров является подготовка подробного информационного доклада о кадастре (ИДК). В 2020 году одиннадцать Сторон не представили ИДК, а три Стороны представили ИДК, но не придерживались рекомендованной структуры. Для этих Сторон прозрачность не была обеспечена. Однако и для Сторон, имеющих всеобъемлющие ИДК, в ходе углубленного анализа обычно выявляются проблемы, связанные с прозрачностью.

40. Черный углерод (ЧУ) и конденсирующиеся соединения в РМ остаются сложными проблемами при подготовке докладов о выбросах: необходимы стратегические решения, касающиеся показателей концентрации/требований, предъявляемых к отчетности. В течение многих лет выбросы тяжелых металлов (ТМ)

⁵ См. Technical Report CEIP 4/2020.

и СОЗ не пересматривались и не обновлялись. Это связано с тем, что они не считаются приоритетными по сравнению, например, с оксидами азота (NO_x) и PM_{2,5}, в отношении которых предусмотрены обязательства по сокращению выбросов, которым уделяется более пристальное внимание, однако они должны оставаться в числе вопросов, имеющих важное значение. Более того, при разработке стратегий по сокращению объемов выбросов можно найти сопутствующие выгоды, если внимание будет сосредоточено на ТМ и СОЗ.

41. Информация о выбросах черного углерода (ЧУ) представляется на добровольной основе. Количество стран, предоставляющих оценки выбросов черного углерода, увеличилось после того, как в 2015 году появилась возможность представлять отчетность по ЧУ. В 2021 году 40 стран сообщили о выбросах ЧУ по меньшей мере за один год в своих временных рядах кадастра. Учитывая, что ЧУ является загрязнителем, отчетность по которому представляется на добровольной основе, ее объем выглядит обнадеживающим. Тем не менее, мы еще не достигли полной отчетности всех Сторон, и согласно независимым оценкам выбросов ЧУ (например, Модели для описания взаимных связей и синергизма в отношении парниковых газов и загрязнения воздушной среды (GAINS) и Базы данных о выбросах для глобальных атмосферных исследований (ЭДГАР)), некоторые из Сторон, не представляющих информацию, производят значительное количество выбросов ЧУ. Кроме того, есть основания полагать, что необходимо повысить качество представленных данных о выбросах ЧУ. В техническом докладе «Обзор систем отчетности для национальных кадастров выбросов черного углерода»⁶ рассматриваются данные по кадастрам выбросов ЧУ, представленные в соответствии с Конвенцией до 2018 года, и отмечаются важные вопросы с точки зрения открытости, точности, полноты, согласованности и сопоставимости. Хотя выбросы ЧУ некоторыми Сторонами были рассмотрены в рамках представления обзоров на этапе 3, координируемого Центром по кадастрам и прогнозам выбросов, последующих широкомасштабных обзоров с тех пор не проводилось.

42. В этом году можно получить более четкое представление о существующем в настоящее время качестве представляемых данных о выбросах ЧУ в рамках Конвенции. Обзор НСЭР в 2021 году впервые будет отчасти посвящен выбросам ЧУ государств — членов Европейского союза (все они являются Сторонами Конвенции), и будет также интересно отметить степень охвата и качество отчетности о выбросах ЧУ в привязке к ячейкам сетки, учитывая, что 2021 год является крайним сроком для следующего цикла четырехлетней отчетности о выбросах в привязке к ячейкам сетки.

43. Все кадастры выбросов включают фактор неопределенности. Учитывая, что кадастры выбросов закладывают прочную основу для борьбы с загрязнением воздуха, эти факторы неопределенности важно оценить. Информация об оценке неопределенности должна быть неотъемлемой частью всех кадастров выбросов. Однако менее половины Сторон Конвенции представили информацию об оценке неопределенности в своих кадастрах, представленных в 2021 году. Обычно Стороны сообщают о неопределенности в отношении общего объема выбросов и динамики изменений в объемах выбросов. В последние годы оценки факторов неопределенности стали представляться все чаще, тем не менее прогресс все еще довольно медленный.

44. В таблице ниже приведены некоторые цифры, которые наглядно отражают проблему, связанную с неопределенностью, на основании данных, представленных в 2021 году (они будут обновлены при повторном представлении в конце года). В таблице показана значительная неопределенность по большинству загрязнителей, согласно данным Сторон. Вполне вероятно, что отчасти столь широкий разброс обусловлен существующими в действительности различиями в неопределенности кадастров, при также отчасти — недооценкой или переоценкой существующих в действительности неопределенностей. Также отмечается, что в некоторых случаях пересчеты, наблюдаемые в прошлые годы, выше, чем можно было бы предположить по указанным значениям неопределенности.

⁶ См. URL: www.amap.no/documents/doc/eua-bca-technical-report-2/1780.

45. Можно сделать вывод о том, что оценка неопределенности все еще является одной из тем, которым уделяется слишком мало внимания в информационных докладах о кадастрах многих Сторон, и что в настоящее время невозможно оценить неопределенность выбросов загрязняющих веществ на всей территории ЕМЕП с помощью информации, представленной Сторонами.

<i>Загрязнитель</i>	<i>Диапазон неопределенности, о котором сообщили Стороны в отношении общего объема выбросов в стране (%)</i>	<i>Число Сторон, представивших оценку неопределенности в отношении общего объема выбросов в стране</i>	<i>Диапазон неопределенности, о котором сообщили Стороны в отношении динамики изменений объемов выбросов (%)</i>	<i>Число Сторон, представивших оценку неопределенности в отношении динамики изменений объемов выбросов</i>
NO _x	8,5 до 59	19	от 1 до 31	19
НМЛОС	от 15 до 112	19	1,8 до 32,2	19
SO _x	от 5 до 47	19	от 0,2 до 103	19
NH ₃	9,5 до 143	19	3,1 до 364,8	19
PM _{2,5}	9,96 до 96,6	17	от 3 до 140	18
ЧУ	27,1 до 302	7	3,1 до 67	7

Примечание: НМЛОС — неметановые летучие органические соединения; NH₃ - аммиак.

В. Приоритетные направления для совершенствования Руководства ЕМЕП/ЕАОС

46. В целом Руководство считается всеобъемлющим по своему охвату и содержанию. Более простые (первого уровня) и более подробные (второго уровня) методы предусмотрены для всех категорий источников и загрязнителей, в отношении которых в настоящее время Стороны должны представлять отчетность по кадастру выбросов. Однако многое можно было бы усовершенствовать как на уровне управления, так и содержания во благо всех сообществ, занимающихся составлением кадастров и моделированием выбросов. Кроме того, приоритетное внимание, которое уделяется в рамках Конвенции поощрению Сторон/требованию к Сторонам перейти от более простых методов (которые все еще зачастую неправильно используются для значимых основных источников) к методам уровня 2, которые в целом являются более точными, также является одним из важных способов повышения качества кадастра выбросов.

47. Существуют некоторые отдельные виды деятельности в рамках существующих категорий источников, для которых методики еще не разработаны (например, сжигание садовых и бытовых отходов). Но это, как правило, источники меньшего размера.

48. Повышению качества содержания ГБ препятствует механизм финансирования. ЕМЕП не предоставляет никаких ресурсов, а Целевая группа по кадастрам и прогнозам выбросов полностью зависит от взносов Сторон в натуральной форме. В прошлом Руководство дорабатывалось при поддержке небольшого числа Сторон по отдельным главам, а также при финансировании со стороны Европейского союза (т. е. Европейского агентства по окружающей среде, Европейской комиссии). Это приводит к возникновению ряда серьезных проблем:

a) существуют серьезные ограничения на количество времени, которое может быть потрачено на доработку Руководства, что препятствует заблаговременному действенному планированию;

b) когда Стороны предоставляют взносы в натуральной форме, их не всегда можно использовать для работы по пунктам, которые считаются первоочередными.

Приоритетные направления могут устанавливаться Сторонами, которые предоставляют средства.

49. Одна из наиболее серьезных проблем заключается в отсутствии достаточно тесных связей между специалистами по кадастрам выбросов, определяющими содержание Руководства, и исследовательскими группами, проводящими новые измерения выбросов. Руководство можно было бы значительно доработать, если бы в ходе исследований по измерению выбросов, проводимых в странах национальными органами, также обеспечивалась бы взаимосвязь между собственным проектом и Целевой группой по кадастрам и прогнозам выбросов/Руководством.

50. Наиболее значимыми улучшениями являются повышение точности существующих методологий путем повышения точности/репрезентативности стандартных коэффициентов выбросов (КВ). Это — непростая задача и, как правило, для ее решения требуются новые результаты измерений. В дальнейшем следует изучить вопрос, касающийся использования «региональных» КВ для повышения точности стандартных КВ для источников, в которых, как известно, существуют значительные расхождения между регионами (особенно это касается стран — членов Европейского союза в отличие от других стран).

51. В Руководстве по-прежнему имеется ряд коэффициентов выбросов, значения которых были определены на основе данных из источников, которые порой были изданы, например, в 1990-х годах. Данные коэффициенты выбросов, возможно, больше не отражают современные объемы выбросов. Такие примеры, как правило, относятся к категориям источников, которые вносят лишь небольшой вклад в общие национальные кадастры, и поэтому не являются приоритетными в плане доработки, когда на нее выделен ограниченный бюджет.

52. В методологиях выбросов, которые содержатся в Руководстве, должно в большей степени учитываться изменение климата, т.е. в большей степени учитываться взаимосвязь между меняющимися климатическими условиями и коэффициентами выбросов. Данная взаимосвязь становится предметом анализа в отношении сельскохозяйственного сектора, однако при обновлении информации в Руководстве необходимо учитывать температуру окружающей среды и изменения в моделях поведения, и особенно для подкрепления расчетов в целях составления прогнозов.

53. Определенные источники лучше оценивать централизованно, а не каждой Стороной в отдельности, например, судоходство и авиацию. Это обеспечит согласованность во всем географическом охвате и позволит получить высококачественные оценки объемов выбросов для источников, которые, возможно, было бы трудно оценить каждой Стороне в отдельности.

54. Появляется все больше новых типов данных, которые могли бы лечь в основу оценок выбросов, например, спутниковые измерения, данные о деятельности в режиме реального времени и прогнозы, составленные искусственным интеллектом. Многие из этих типов данных, скорее всего, будут использоваться в проверочных исследованиях, а не непосредственно в расчетах кадастров выбросов.

VIII. Мониторинг и моделирование

A. Анализ наблюдаемых и смоделированных трендов

55. Озон является одним из вторичных загрязнителей, и наблюдаемые тренды отражает метеорологическую изменчивость в гораздо большей степени, чем динамика изменений соединений-прекурсоров. На тенденции также оказывают влияние последствия титрования, при котором уменьшение выбросов NO_x может привести к увеличению объемов озона, особенно в зимний период. Динамика изменений концентрации O_3 в летний период, а также более высокие показатели концентрации озона (ежедневная максимальная 8-часовая концентрация озона (MDA8) и сумма средних значений концентраций озона, превышающих

35 частей на миллиард (млрд^{-1} ; SOMO35)), являются более ярко выраженными и четкими, чем в годовых данных, хотя изменчивость в зависимости от контрольного участка велика. При использовании четких критериев сбора данных медианные тренды максимального дневного содержания озона в июне — августе составили $-0,6 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ на участках ЕМЕП (модель ЕМЕП $-0,4 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$). В период с 2000 по 2018 год среднегодовой уровень концентрации озона увеличился на 11 %, в то время как в сельской местности наблюдается незначительное снижение (3 %)⁷. В наблюдаемых тенденциях в гораздо большей степени прослеживается изменчивость, чем в тех, которые были смоделированы, причем на выявленную динамику в наибольшей степени повлияли летние периоды с высоким содержанием озона в некоторых регионах в 2003 и 2006 годах. Пиковые значения концентрации озона систематически снижаются (на 11 % и 6 % в сельских и городских районах соответственно), однако данный диапазон сокращения можно считать ограниченным по сравнению с изменениями, составившими -47% и -54% для выбросов неметановых летучих органических соединений и NO_x , соответственно, за тот же период времени.

56. С 1980-х годов наблюдается снижение среднегодовой концентрации диоксида серы и сульфатов в форме твердых частиц, а также мокрого осаждения окислов серы. На участках фонового загрязнения ЕМЕП изменения, произошедшие в период с 2000 по 2018 год, составляют в среднем -4% /год, $-2,9 \%$ /год и $-3,3 \%$ /год для диоксида серы, сульфатов в форме твердых частиц и мокрого осаждения окислов серы соответственно (результаты модели ЕМЕП: $-5,3 \%$ /год, $-4,0 \%$, $-4,5 \%$ /год). В целом динамика изменений в концентрациях соединений серы и азота в воздухе и осадках следует тенденциям, связанным с объемом выбросов в Европе, а влияние трансконтинентального переноса является незначительным.

57. Начиная примерно с 1990 года, общий объем выбросов NO_x в Европе значительно снизился, за этим последовало снижение концентрации диоксида азота и общего осаждения нитратов (азотная кислота вместе с нитратами в форме твердых частиц) в воздухе и уменьшение осаждения оксидов азота на измерительных станциях мониторинга фонового загрязнения ЕМЕП. В период с 2000 по 2018 год среднее снижение на измерительных станциях мониторинга фонового загрязнения ЕМЕП, где проводится долгосрочный мониторинг, составило $-1,5 \%$ /год, $-1,9 \%$ /год и $-1,7 \%$ /год для концентраций диоксида азота, нитратов в форме твердых частиц и мокрого осаждения оксидов азота соответственно (результаты модели ЕМЕП: $-2,3 \%$ /год, $-2,3 \%$, $-2,4 \%$ /год).

58. С 2000 года было достигнуто лишь незначительное сокращение выбросов аммиака по сравнению с другими загрязняющими веществами. Как следствие, содержание аммония в осадках незначительно снизилось (медиана $-0,08 \%$ /год в период с 2000 по 2018 год измерительных станциях долгосрочного мониторинга ЕМЕП). Однако образование твердых частиц аммония в воздухе зависит от наличия не только аммиака, но и азотной кислоты (которая образуется из NO_x) и сульфатов (которые образуются из SO_x). При существенном сокращении выбросов SO_x и NO_x , которое наблюдается в последние десятилетия, аммиак в значительной степени находится в избытке, а наличие азотной кислоты и сульфатов ограничивает образование аммония, что приводит к снижению содержания аммония в воздухе в среднем на $-2,8 \%$ /год на станциях долгосрочного мониторинга ЕМЕП. Общее количество восстановленного азота в воздухе (аммиак + твердые частицы аммония) снижается меньше (-1% /год в период с 2000 по 2018 год), так как более значительную долю общего восстановленного азота составляет аммиак (но с более коротким сроком сохранения, чем аэрозоль аммония). На большинстве измерительных участков, где

⁷ Данные оценки тенденций обновлены для периода 2000–2018 годов с использованием методологии, опубликованной в докладе за 2000–2017 годы, и будут дополнительно скорректированы летом 2021 года за 20-летний период с 2000 по 2019 год: www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-16-2019-air-quality-trends-in-europe-2000-2017-assessment-for-surface-so2-no2-ozone-pm10-and-pm2-5-1.

проводится мониторинг концентраций аммиака в воздухе, существенных тенденций не выявлено.

59. С 2000 года произошло значительное сокращение PM_{10} и $PM_{2,5}$ (в среднем $-1,7$ и $-2,3$ на %/год на станциях долгосрочного мониторинга ЕМЕП, и немного больше в расчетах модели ЕМЕП ($-2,0$ и $-2,6$ %/год). С 2000 года концентрация вторичных неорганических аэрозолей (ВНА, сульфаты, нитраты и аммоний в форме твердых частиц) значительно снизилась, причем концентрация сульфатов уменьшилась наиболее значительно (SO_4 : $-2,9$ ($-4,0$) %/год, NO_3 : $-1,9$ ($-2,3$) %/год, NH_4 : $-2,8$ ($-2,9$) %/год, в скобках указана модель ЕМЕП). Для природных компонентов (морская соль и пыль) имеется меньше станций долгосрочного мониторинга, и лишь на немногих из них наблюдаются существенные тенденции. Для углеродсодержащих аэрозолей существует очень мало контрольных станций, где проводятся долгосрочные и последовательные измерения. Как видно из одного исследования, с 2001 года концентрация элементарного углерода снизилась на 4 %/год, что указывает на сокращение за счет антропогенных источников, в то время как динамика изменений в концентрациях органического углерода (в большей степени) зависит от природных источников, и поэтому ее сложнее оценить.

60. В последние годы на региональных контрольных станциях ЕМЕП превышение РКВ ВОЗ для PM_{10} и $PM_{2,5}$ наблюдается примерно на $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$ станций мониторинга соответственно. В ходе моделирования МСЦ-Запад ЕМЕП в период с 2000 по 2018 год было выявлено сокращение площади с (фоновым качеством воздуха в сельской и городской местности) ежедневными превышениями показателей PM_{10} и $PM_{2,5}$, установленными в РКВ ВОЗ.

В. Усовершенствование мониторинга и моделирования

61. Для повышения качества наблюдений за тенденциями в области эвтрофикации в морских экосистемах и для оценки/ограничения модели было бы полезно провести дополнительные измерения осаждения азота в морских районах (на островах или на судах).

62. В Восточной Европе, на Кавказе, в Центральной Азии и в западной части Балканского полуострова практически нет контрольных станций ЕМЕП для проведения (долгосрочных) наблюдений. Учитывая также отсутствие последовательных, высококачественных (и долгосрочных) данных об объемах выбросов для стран, расположенных в восточной части географического охвата ЕМЕП, очень сложно оценить и спрогнозировать загрязнение воздуха и его последствия в этих районах.

63. Одной из таких проблем являются конденсируемые органические вещества и так называемая промежуточная фракция летучих органических веществ, которая также, возможно, станет вопросом, требующим пристального внимания. Данные проблемы требуют дальнейшего обсуждения Целевыми группами ЕМЕП и Сторонами в увязке с Руководством.

64. Существуют также вопросы, связанные с последовательным включением или исключением некоторых других компонентов выбросов, например, выбросов окислов азота из сельскохозяйственной почвы, сжигания отходов или выбросов летучих органических соединений.

65. Повышение разрешающей способности в результатах моделирования ЕМЕП (и в выбросах) позволяет проводить в целом более эффективный сравнительный анализ с наблюдаемой динамикой, особенно для первичных компонентов. В то время как результаты моделирования в старом разрешении (50 км x 50 км) являлись репрезентативными для регионального фонового загрязнения, результаты моделирования в новом разрешении могут представлять также фоновое загрязнение в масштабе городов. Так как результаты моделирования теперь лучше описывают области меньшего масштаба с более высоким уровнем концентрации (обычно пригородные районы), они по определению будут иметь

«хвост» более высоких концентраций, которого не было при более низком разрешении. Исходя из модельных расчетов только для $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ или $50 \text{ км} \times 50 \text{ км}$, результаты, полученные с более высоким разрешением, могут показать несколько более интенсивное воздействие и больший разрыв с целевым показателем ВОЗ.

66. Несколько более значительное превышение критических нагрузок наблюдается в результатах моделирования с более высоким разрешением ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$), чем в результатах, полученных с применением старой сетки с разрешением $50 \text{ км} \times 50 \text{ км}$, для подкисления. Общее превышение критической нагрузки по эвтрофикации незначительно ниже при разрешении $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, применяемой для измерения осадений. Одна из возможных причин этого может заключаться в том, что модели осадения с высоким разрешением гораздо лучше подходят для населенных пунктов. В этих районах обычно наблюдается более высокий уровень осадения, но меньше (полу)естественных экосистем. Возможно, это станет дополнительным доводом для использования моделей осадения с высоким разрешением для расчетов превышений. В целом изменения незначительны, например, превышение площади на 5,28 % против 5,25 % для подкисления и 62,5 % против 61,2 % для эвтрофикации в Европе в 2015 году (на основе доклада о ходе работы ЕМЕП 1/2017).

67. Общие различия в матрицах «источник — рецептор», обусловленные различными разрешениями моделирования для мониторинга переноса внутри одной страны, незначительны для осадений (несколько процентов), но несколько больше для РМ и озона (до 11 %). Для трансграничного загрязнения воздуха в отдельных случаях различия могут быть более существенными, особенно когда загрязнение переносится через горные районы и/или весьма незначительными. Одновременно с увеличением разрешения введен новый, более точный, набор данных в границах страны. В целом различия при использовании нового набора данных в границах страны были столь же значительными, как и различия, обусловленные разными разрешениями моделирования. Ни одно из двух изменений не привело к последовательным изменениям в одном направлении (например, не привело к последовательному увеличению или уменьшению матриц «источник — рецептор» при переносе внутри одной страны или при переносе из одной страны в другую).

С. Влияние международных морских перевозок

68. Международный институт прикладного системного анализа (МИПСА) и Финский метеорологический институт (ФМИ) составили прогнозы будущих выбросов в результате международных морских перевозок в Европе. Согласно прогнозам, составленным ФМИ, выбросы NO_x в результате судоходства в Европе будут и далее снижаться, несмотря на рост объемов перевозок. Согласно прогнозам, составленным МИПСА, в 2030 году выбросы NO_x снизятся на 40 %, а в 2050 году — на 79 % по сравнению с выбросами 2015 года.

69. В общемировом масштабе выбросы NO_x в результате международных морских перевозок, согласно прогнозам, останутся более-менее неизменными или немного уменьшатся в абсолютном выражении в течение XXI века, в зависимости от предположений в отношении роста международной торговли и использования технологий ограничения объемов выбросов. Согласно прогнозам, к концу этого века доля выбросов NO_x в результате международных морских перевозок в общем объеме мировых антропогенных выбросов NO_x (в настоящее время она составляет около 30 %) будет колебаться от 10 % до 60 % в зависимости от, того, насколько результативными будут ограничения объемов выбросов NO_x на суше.

70. На основании одного исследования с опорой на моделирование примерно 10 % озона антропогенного происхождения в Европе можно отнести на счет международного судоходства. Нормативное регулирование объемов выбросов NO_x в результате международных морских перевозок в районах, где установлены ограничения объемов выбросов, по-видимому, приведет к снижению уровня озона к 2030 году. Исключения составляют регионы с очень высоким уровнем концентрации NO_x , где сокращение объемов выбросов NO_x может привести к

увеличению концентрации озона в зимний период. Однако, поскольку в зимний период концентрация озона находится на низком уровне, это не окажет существенного влияния на превышение РКВ.

71. По мнению специалистов из МИПСА, придание Средиземному морю статуса района с установленными ограничениями выбросов NO_x (POB NO_x) даст эффект с точки зрения снижения выбросов PM_{2.5} и связанной с ним преждевременной смертности, особенно в южных частях региона ЕЭК. В некоторых исследованиях делается аналогичный вывод для Северной Европы о том, что к 2050 году количество случаев преждевременной смерти из-за выбросов в результате морских перевозок может быть значительно снижено за счет установления запрета на использование тяжелого топлива в дополнение к нормативному регулированию, которое касается ограничения объемов выбросов серы.

72. Критические нагрузки по осаждению азота превышены на большей части территории Европы. В частности, в странах с протяженной береговой линией значительная часть осаждения азота обусловлена судоходством. Выбросы в результате морских перевозок приводят к превышению уровней критической нагрузки на суше, однако подобное воздействие будет уменьшаться в связи с нормативным регулированием выбросов, в частности, в районах, где установлены ограничения объемов выбросов, как это уже сделано в Северном и Балтийском морях.

IX. Перспективная оценка воздействия стратегий по сокращению выбросов в будущем

73. Согласно новому докладу «Перспективы чистого воздуха в 27 странах — членах Европейского союза», при наличии дополнительных национальных планов (НПОЗВ) обязательства стран по сокращению выбросов НДПЗВ к 2030 году будут выполнены для NO_x, SO₂, ЛОС и первичного PM_{2.5}, лишь за некоторыми исключениями. Достижение все более широкомасштабных целей в рамках климатической стратегии Европейского союза также будет способствовать выполнению обязательств. Наиболее сложным представляется выполнение обязательств по сокращению объемов выбросов аммиака. Необходимо принять дополнительные меры по ограничению объемов выбросов аммиака, которые в некоторых случаях должны включать нетехнические меры. В докладе об оценке аммиака⁸ подчеркивается, что существуют альтернативы с более низкими издержками, чем издержки, обусловленные бездействием.

74. Скоординированная политика Европейского союза дает значительные трансграничные преимущества для здоровья населения и экосистем. При осуществлении нынешней политики в 2030 году почти 15 % населения, проживающего в 27 странах — членах Европейского союза, будет подвергаться воздействию более высоких уровней загрязнения, чем установленные в настоящее время в Руководстве ВОЗ нормативы по качеству воздуха. Благоприятные последствия для здоровья населения в дальнейшем могут быть обеспечены за счет совокупности скоординированных мер на местном, государственном и международном уровнях. На местном уровне международный компонент загрязнения воздуха все еще остается значительным.

75. Центр по разработке моделей для комплексной оценки (ЦРМКО) и МСЦ-Запад разработали методологию мелкомасштабного моделирования для оценки динамики изменения качества воздуха и воздействия на здоровье населения в странах Восточной Европы, Кавказа, а также Центральной Азии и западной части Балканского полуострова, где четко прослеживается высокий уровень концентрации и рисков для здоровья населения в урбанизированных и промышленно развитых регионах, а также преимущества, связанные со снижением загрязнения воздуха в таких загрязненных регионах в сочетании с скоординированными мерами по снижению трансграничного загрязнения. Включение в модель GAINS будет завершено в 2021 году наряду с

⁸ URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/Final_Assessment_Report_on_Ammonia_v2_20201126_b.pdf.

расширением сферы охвата модели GAINS, в которую также войдут все страны Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии.

76. Целевая группа по разработке моделей для комплексной оценки и ЦРМКО определили меры по снижению первичных выбросов РМ, которые также результативны для сокращения объемов выбросов черного углерода и, таким образом, могут способствовать увеличению синергии между снижением риска для здоровья населения и ограничением радиационного воздействия. К числу главных эффективных мер, позволяющих сократить объем выбросов РМ и ЧУ, относятся сокращение использования твердого топлива в домашних хозяйствах, постепенный отказ от старых транспортных средств и ограничение сжигания сельскохозяйственных отходов.

77. В отношении мер в конце технологического цикла эффективным стратегическим инструментом является нормативное регулирование с помощью установления пороговых значений выбросов, однако для стимулирования структурных изменений в производственных процессах и внедрения новых норм поведения лучше использовать экономические стимулы.

78. ЦРМКО проанализировал возможный синергический эффект в результате принятия мер в отношении изменения климата и снижения уровня загрязнения воздуха. Согласно докладу «Перспективы чистого воздуха в 27 странах — членах Европейского союза», в период с 2030 по 2050 год принятие дополнительных мер в отношении изменения климата обеспечило бы достижение почти половины показателей, связанных с улучшением здоровья населения и экосистем. В общемировом масштабе к 2040 году число людей, подверженных воздействию более высоких уровней, чем значения РКВ ВОЗ, может сократиться с 5,5 млрд до 1 млрд благодаря дополнительным мерам по борьбе с загрязнением воздуха в сочетании с мерами в области энергетики и изменения климата, а также мерами в сфере сельского хозяйства и продовольствия.

79. Метан выступает главным фактором, влияющим на фоновые уровни озона. ЦРМКО определил меры по сокращению объемов выбросов метана с наименьшими затратами в разных регионах мира. В Европе наиболее перспективными являются меры в секторе управления отходами. В Восточной Европе и Центральной Азии наиболее многообещающими для снижения объемов выбросов являются меры в нефтегазовом секторе, а в США — меры в области добычи (нетрадиционных запасов) газа. Во всех регионах выбросы из сельскохозяйственного сектора (особенно от крупного рогатого скота), как правило, являются источником с низким техническим потенциалом в области борьбы с выбросами. Согласно Глобальной оценке метана в рамках Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде, снижение потребления молочных и мясных продуктов может внести значительный вклад в предотвращение потепления, смертности, связанной с концентрацией озона, заболеваемости, а также потерь урожая.

Х. Перенос загрязнения воздуха в масштабах полушария

80. Из-за более длительного срока сохранения озона в атмосфере вклад в масштабах полушария в концентрацию приземного озона более значителен, чем вклад в масштабах полушария в концентрацию РМ или их составляющие. Концентрация озона, наблюдаемая в любом населенном пункте, представляет собой озон в сочетании с прекурсорами озона, переносимыми из отдаленных источников в масштабах от полушария до региона, и зависит от фотохимического режима, фотохимического образования озона на местном уровне или потери озона в результате титрования оксидом азота на местном уровне. Возросло относительное влияние фонового уровня озона, включая озон, образующийся в результате переноса в масштабах полушария, на концентрацию озона на местном уровне в городах, расположенных в регионе ЕЭК, но особенно в Европе.

81. Вклад антропогенных источников выбросов за пределами региона ЕЭК на концентрации различных РМ и связанные с ними последствия в регионе ЕЭК является незначительным в сравнении с влиянием местных антропогенных источников. Однако

лесные пожары и пыль, переносимая ветром из районов, расположенных за пределами ЕЭК, оказывают влияние на уровень РМ и их осаждение в регионе ЕЭК, и в значительной степени зависят от изменения климата.

82. Ожидается, что до 2050 года абсолютный вклад выбросов NO_x и ЛОС за пределами региона ЕЭК в среднегодовой уровень приземного озона в Европе и Северной Америке существенно не изменится при реализации сценария «обычного ведения дел». Ожидаемое увеличение глобальной концентрации метана, как ожидается, более чем компенсирует прогнозируемое сокращение выбросов NO_x и ЛОС в Европе и, по крайней мере, частично компенсирует сокращение выбросов NO_x и ЛОС в Северной Америке.

83. При повсеместном сокращении на одинаковую процентную долю объемов выбросов NO_x и ЛОС снижение уровня выбросов за пределами Европы окажет более существенное влияние на уровень концентрации озона в Европе, чем сокращение выбросов в Европе. В Северной Америке равные в процентном отношении сокращения выбросов NO_x и ЛОС за пределами Северной Америки могли бы внести значительный вклад в уменьшение концентрации озона в Северной Америке, но не больше, чем равные в процентном отношении сокращения выбросов в самой Северной Америке.

84. Существует значительный разброс в прогнозируемых тенденциях, связанных с объемами антропогенных выбросов метана: к концу этого века они могут быть в два раза меньше или в два раза больше, чем современные объемы выбросов, в зависимости от допущений, сделанных в отношении темпов экономического развития и использования технологий по ограничению выбросов.

85. Большое влияние на образование озона оказывает концентрация метана в атмосфере, причем в ходе проведения исследований на основе моделирования последовательно выявляется следующая закономерность: более высокие коэффициенты смешивания метана приводят к более высоким фоновым коэффициентам смешивания приземного озона.

86. Благодаря длительному времени жизни метана в атмосфере, он хорошо перемешивается. Снижение концентрации приземного озона в результате ограничения объемов выбросов метана почти не зависит от того, где расположены источники, однако реакция на общемировое снижение концентрации метана, наблюдаемая на местном уровне, более ярко выражена в тех районах, где уровень выбросов NO_x является высоким. Равномерное сокращение объемов выбросов в каждом отдельном регионе приведет к равномерному снижению общемирового фонового уровня приземного озона.

87. Наиболее высоким техническим потенциалом для сокращения объемов выбросов метана обладают сектора (добычи и сбыта) ископаемого топлива и отходов. Сельскохозяйственный сектор является одним из основных источников выбросов метана, но имеет низкий технический потенциал для сокращения объемов его выбросов. За пределами региона ЕЭК в настоящее время существует потенциал для сокращения выбросов метана в секторе управления отходами в Китае и в секторе ископаемого топлива на Ближнем Востоке.

88. Межмодельные сопоставления показывают очень большой разброс в моделировании приземного озона, который не улучшился за последнее десятилетие, несмотря на более высокое пространственное разрешение и другие разработки в сфере моделирования. В комплексе, в глобальных моделях обычно переоцениваются имеющиеся наземные наблюдения.

89. Взаимосвязь «источник — рецептор» для приземного озона, полученная в рамках широкого круга моделей по переносу загрязнения воздуха в масштабах полушария (HTAP2)⁹, существенно не отличается от результатов эксперимента

⁹ См. URL: <http://htap.org> и <http://htapold.kaskada.tk/>.

НТАР1, несмотря на изменения в отдельных моделях и более тщательное согласование входных данных для моделирования.

90. В мировых моделях прослеживаются существенные расхождения в наблюдаемых трендах концентрации приземного озона с доиндустриального периода до настоящего времени и, как правило, занижается величина изменений. По-прежнему весьма неопределенным остается прогнозирование воздействия, которое будет оказывать фоновый уровень озона в масштабах полушария на достижение целевых показателей в будущем, с использованием существующих моделей.

91. К числу технических проблем, которые предстоит решить в целях повышения качества моделирования концентраций приземного озона для региона ЕЭК на мировом уровне, относятся повышение точности моделирования жизненного цикла метана в мировом масштабе, более высокое разрешение химического состава NO_x в шлейфе выхлопных газов судов и представление более подробных данных об осаждении озона на растительность. Исследования по сопоставлению результатов моделирования, такие как ПЗВП, Инициатива по разработке моделей воздействия химического состава воздуха на климат (ССМІ) и Проект по сравнительному анализу моделей влияния химического состава аэрозолей на климат (AerChemMIP), играют крайне важную роль в оценке надежности современных кадастров выбросов, глобальных моделей и результатов измерений для представления Сторонами Конвенции информации о воздействии источников выбросов, которые находятся за пределами региона, на концентрацию озона в регионе ЕЭК.

92. Помимо разработки моделей необходимо на постоянной основе представлять высококачественные кадастры выбросов и активно развивать программу мониторинга концентраций озона на мировом уровне для оценки результатов моделирования.
