



**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
И СОЦИАЛЬНЫЙ СОВЕТ**

Distr.
GENERAL

ECE/EB.AIR/WG.1/2009/15
9 July 2009

RUSSIAN
Original: ENGLISH

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ПО КОНВЕНЦИИ
О ТРАНСГРАНИЧНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОЗДУХА
НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Рабочая группа по воздействию

Двадцать восьмая сессия
Женева, 23-25 сентября 2009 года
Пункт 6 предварительной повестки дня

**ОБЗОР ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНОГО АЗОТА**

Доклад Президиума Рабочей группы по воздействию

I. ВВЕДЕНИЕ

1. На своем совещании в сентябре 2008 года Президиум расширенного состава Рабочей группы по воздействию постановил подготовить в сотрудничестве с Целевой группой по разработке моделей для комплексной оценки, Целевой группой по химически активному азоту и секретариатом информационный доклад о воздействии содержащегося в воздухе химически активного азота (N_r) на окружающую среду. Этот доклад был подготовлен в соответствии с планом работы по осуществлению Конвенции на 2009 год (ECE/EB.AIR/96/Add.2, пункт 3.1 d i)), утвержденным Исполнительным органом на его двадцать шестой сессии в декабре 2008 года. Рабочей группе предлагается обсудить упомянутый доклад и вынести его на рассмотрение двадцать седьмой сессии Исполнительного органа, которая состоится в декабре 2009 года.

II. СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

2. Под Nr понимаются все биологически-, фотохимически- и/или радиационно-активные соединения азота (N) в биосфере и атмосфере. Это относится ко всем соединениям N, за исключением газа N₂: например, окислам азота (NO_x) и нитрату (NO₃) (обобщенно обозначаемым (NO_y)), органическим соединениям N, закиси азота (N₂O), аммиаку (NH₃) и аммонию (NH₄) (последние два обобщенно обозначаются NH_x).
3. Атмосферные NO_y и NH_x воздействуют на экосистемы посредством влажного (дождь) или сухого (газ либо твердые частицы) осаждения. NO_x также являются прекурсорами тропосферного озона (O₃) и вызывают повышение его концентраций. NO_y и NH_x представляют собой основную, хотя и не единственную составляющую вторичных твердых частиц (ТЧ). O₃ и ТЧ оказывают неблагоприятное воздействие на растения, организм человека и строительные материалы. N₂O также воздействует на экосистемы и является парниковым газом, влияющим на лучистый теплообмен. В настоящем докладе рассматриваются только последствия осаждения Nr, в частности связанные с подкислением и эвтрофикацией, для экосистем, материалов и здоровья человека, а также обусловленное этим воздействие на биоразнообразие.
4. N считается тем питательным элементом, с которым чаще всего бывает связано ограничение чистой первичной продуктивности наземных и морских экосистем. Первичная продуктивность пресноводных экосистем может ограничиваться как N, так и фосфором (P). Применительно к наземным экосистемам N выступает в роли ограничительного фактора прежде всего в зонах с умеренным и холодным климатом.
5. До возникновения широкомасштабного промышленного и сельскохозяйственного производства основная часть N, поглощаемого растениями, связывалась в биологически доступной форме азотофиксирующими бактериями. С развитием производства азотных удобрений, сырьем для которого служит газ N₂, получаемый непосредственно из атмосферы (технология Хабера-Боша), а также вследствие сжигания минерального топлива в двигателях и энергетических установках глобальные количества Nr более чем удвоились. Это, среди прочего, привело к резкому усилению осаждения N в экосистемах. Сегодня темпы осаждения атмосферного азота в лесах некоторых районов Северной Европы в 10 раз превышают естественный уровень, что влечет за собой изменения в растительных сообществах, воздействует на почвы и здоровье людей. С усиленным поступлением N в воды мирового океана часто связывают массовое распространение водорослей, вызывающих "цветение" воды.

6. "Критическая нагрузка" определяется как "количественная оценка воздействия одного или нескольких загрязнителей, ниже которого, согласно современным знаниям, не возникает значительных вредных последствий для конкретных чувствительных элементов окружающей среды". Применительно к эвтрофикации величина критической нагрузки зависит от рассматриваемого типа и сегмента экосистемы. Пространственные вариации весьма значительны.

7. С 1990 по 2004 год общий объем выбросов NO_x сократился на 31%, т.е. до 18 млн. тонн. Согласно данным Целевой группы по разработке моделей для комплексной оценки, для достижения общего целевого показателя на 2010 год, намеченного в Гётеборгском протоколе по борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1999 года, суммарный объем выбросов потребуется сократить еще на 15%.

Дополнительные сокращения потребуются для достижения намеченных на 2010 год предельных уровней NH_x половиной всех Сторон, ратифицировавших Протокол. Выбросы в 2004 году составили 7 млн. т, что на 22% ниже уровней 1990 года и близко к целевому показателю Протокола. Ожидается, что все ратифицировавшие Протокол Стороны достигнут своих предельных уровней по NH_3 , хотя некоторым придется принять для этого дополнительные меры. Осаждение N сокращается медленными темпами, и угроза пагубных последствий эвтрофикации сохраняется во многих районах. В 2000 году площадь лесных массивов, подверженных осаждению N в количествах, превышающих критические нагрузки по эвтрофикации, была вчетверо больше площади лесов, для которых превышались уровни кислотного осаждения. Ожидается, что к 2020 году осаждение N превысит критические нагрузки на 53% общей площади экосистем; превышение, как правило, будет составлять от 250 до 750 экв. $\text{га}^{-1} \text{год}^{-1}$, однако в районах со значительным поголовьем крупного рогатого скота оно может достигать более чем до 1 000 экв. $\text{га}^{-1} \text{год}^{-1}$.

8. Результаты дополнительного внесения N на культурных землях хорошо изучены, достаточно известны и способствуют более эффективному производству продовольствия. Что касается природных или смешанных экосистем, то их реакция на повышение концентраций Nг труднее поддается исследованию и количественной оценке. Установлено, что такое усиленное поступление питательных элементов ведет к изменению состава (биоразнообразия) растительных сообществ и увеличению производства биомассы устойчивых к азоту видов. Почвенные микробы успешно конкурируют за Nг с растениями. Обогащение почвы Nг происходит за счет усвоения осаждающегося Nг микроорганизмами и за счет изменений в растительных сообществах. Повышение концентрации N в почве влечет за собой последствия для почвенной биоты и процессов подкисления пресных вод из-за более интенсивного выщелачивания азота. Nг влияет на первичную продуктивность, увеличивая тем самым количество связываемого

углерода (С). Активность почвенных микроорганизмов также меняется в зависимости от содержания N и соотношения C/N. В городских районах NO_3 and NH_3 вызывают коррозию и загрязнение материалов и причиняют вред здоровью людей.

9. Воздействие избыточного осаждения N на жизненную среду человека через соответствующие функции экосистем было продемонстрировано в ходе Оценки состояния экосистем на рубеже тысячелетия. Речь идет о таких функциях, как жизнеобеспечение (снабжение продовольствием и водой), регулирование (климат, состояние почвы и водоемов, сопротивление вредителям и болезням) и удовлетворение культурных потребностей (условия для отдыха, эстетическая ценность).

10. В рамках международных совместных программ (МСП) Рабочей группы по воздействию ведется активная работа по количественной оценке изменений в экосистемах Европы и Северной Америки, вызываемых атмосферным Nr. Проводятся исследования растительного и лесного покрова, почв, пресноводных водоемов, воздействия на материалы и здоровье человека. Это позволяет составить представление о реальных и потенциальных проблемах, создаваемых атмосферным Nr, а также об их географических и временных масштабах.

III. ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНОГО АЗОТА

A. Растительные сообщества

11. Усиленное поступление питательного N из атмосферы приводит к изменениям в видовом составе. Речь идет об исчезновении некоторых видов, изменении характера межвидовой конкуренции, снижении сопротивляемости растений заболеваниям и вредным насекомым, повышении чувствительности к заморозкам, засухам и ветру. Особому риску, по-видимому, подвергаются редкие и находящиеся под угрозой виды, особенно в районах и экосистемах, где уровни осаждения N в прошлом были невысокими, таких как пустоши и низкопродуктивные пастбища. Установлено, что особую чувствительность к Nr, и прежде всего к сельскохозяйственным выбросам NH_3 , проявляют мхи, лишайники и среды их обитания.

12. Оценки, проводившиеся в рамках программ по изучению воздействия, таких как Международная совместная программа по воздействию загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры (МСП по растительности), позволили выявить целый ряд примеров изменений в растительных сообществах на территории Европы, многие из которых имели место несмотря на предпринимаемые природоохранные усилия. В последние 20-50 лет на многих не

тронутых человеком низинных пустошах в Западной Европе начали преобладать травяные виды. Замена преимущественно кустарникового покрова травостоем началась после того, как древесный и кустарниковый полог оказался разомкнут из-за распространения верескового листоеда, а также вследствие вымерзания и засух. На начальном этапе свою роль в этом сыграли повышенные уровни концентрации N в растениях. Наиболее распространенные виды лишайников и мхов начали испытывать на себе неблагоприятное воздействие азота уже при более низких уровнях его осаждения, чем те, которые вызвали вытеснение карликовых кустарников травяной растительностью.

13. Специфические изменения были отмечены, например, в бореальных лесах Швеции. Так, выявлена отрицательная зависимость распространенности двух видов карликовых кустарников от осаждения N в количествах $>6 \text{ кгN га}^{-1} \text{ год}^{-1}$; это сопровождалось более широким распространением трав и сокращением популяций мхов и других карликовых кустарников. Было также установлено, что высокие уровни осаждения N положительно влияют на распространение одного из видов паразитических грибов.

14. Определенным изменениям в последние 30-40 лет подверглись биотические сообщества в горных районах Шотландии. Они наиболее заметны в районах, где осаждение N превышало критические нагрузки. Во всех исследованных сообществах имела место существенная корреляция между осаждением NO_3 и изменениями в составе растительного покрова. Однако эта корреляция не была столь же значительной, как последствия выпаса скота и изменения климата, что свидетельствует о важности изучения всех факторов, ведущих к изменению ситуации, в их взаимосвязи.

15. Существенная позитивная корреляция отмечалась между осаждением N и дефолиацией древесных крон, а также ростом деревьев, на участках уровня 1, наблюдаемых в рамках Международной совместной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса (МСП по лесам). С осаждением N было связано более интенсивное опадание листвы черешчатого и сидячецветного дуба (*Quercus robur* и *Quercus petraea*) и бука обыкновенного (*Fagus sylvatica*), а также усиление роста биомассы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской (*Picea abies*) и бука обыкновенного (*Fagus sylvatica*). Как и в случае лишайников и мхов, рост лесной растительности особенно усиливался на участках, где изначальные уровни N были невысокими. Ускоренным ростом деревьев под воздействием осаждающегося N обусловлено, согласно оценкам, около 5% поглощения углерода европейскими лесами в течение последних 40 лет; однако нет уверенности в том, что такая тенденция будет сохраняться и впредь.

В. Почвы

16. С избыточным осаждением N из атмосферы связывают подкисление почв и увеличение количеств доступного NH_4 . Исследования, проведенные в рамках МСП по лесам на участках уровня 2, показывают, что увеличение доступности NH_4 подавляет микробную иммобилизацию осажденных нитратов на ранних стадиях азотного насыщения почв, особенно почв с низким pH. Если среди азотных соединений в почве начинает преобладать NH_4 , то это отражается на росте чувствительных видов растений и ведет к гибели тех из них, которые наиболее эффективно удерживают азот, а также к подавлению эффекта микробной иммобилизации отложений NO_3 . Результатом этого становится усиление выщелачивания N в грунтовые воды и с последующим его поступлением в поверхностные водотоки.

17. Между участками, наблюдаемыми в рамках Международной совместной программы по комплексному мониторингу воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП по комплексному мониторингу), отмечаются большие различия в переносе в почву кислотности азотного происхождения. Эти различия связаны как с количествами осаждающегося N, так и с особенностями растительных сообществ и состава почвы. Расчеты указывают на наличие четкой положительной зависимости между чистым подкисляющим воздействием химических процессов с участием азота и уровнями осаждения N из атмосферы.

18. Побочным результатом накопления N в растениях и почвах является одновременное повышение содержания углерода в почвенных комплексах. Величина отношения C/N в органогенном горизонте лесных участков на территории Европы, где отмечаются повышенные концентрации N в проникающих атмосферных осадках, представляется достаточно показательной в плане оценки риска усиленного выщелачивания азота и вредных последствий для водных ресурсов и почвы. Согласно исследованию, проведенному на европейских участках, в том числе наблюдаемых в рамках МСП по комплексному мониторингу, важными параметрами, определяющими выщелачивание N, являются его осаждение, отношение C/N в органогенном слое и годовые температуры. При отношениях C/N менее 23 интенсивность выщелачивания N зависит от интенсивности его поступления, а при более высоких величинах этого отношения – от интенсивности поступления N и от температуры. Эмпирические закономерности такого рода использовались для прогнозирования последствий усиленного осаждения N для выщелачивания NO_3 в лесах разных районов Европы.

С. Воды

19. Согласно исследованиям, проведенным в рамках Международной совместной программы по оценке и мониторингу подкисления рек и озер (МСП по водам), существует связь между осаждением N и его выщелачиванием из лесных почв в поверхностные и грунтовые воды, особенно в лесах, почва которых изначально богата азотом. В чувствительных к подкисляющему воздействию экосистемах выщелачивание NO₃ влечет за собой подкисление поверхностных вод, так как сопровождается повышением кислотности и высвобождением неорганических катионов алюминия. В высоких концентрациях и то, и другое приводит к отравлению водной биоты и является одной из главных причин вымирания популяций лосося и форели. При этом страдают и другие виды чувствительных к подкислению водных организмов, в частности, брюхоногие и двустворчатые моллюски, нуждающиеся в карбонате кальция для поддержания прочности раковин. Контакт с неорганическими соединениями приводит к загрязнению жабр рыб, которое со временем наносит ущерб их дыхательной функции.
20. Подкисление влечет за собой утрату биоразнообразия в пресноводных водоемах. При этом исчезают важнейшие виды (лосось и форель), сокращается общее число видов (в частности, насекомых и брюхоногих моллюсков), имеют место структурные изменения в экосистемах (т.е. меняется структура пищевых цепей).
21. Осаждение азота и связанное с ним усиление выщелачивания N в поверхностные воды может повышать первичную продуктивность пресноводных экосистем. Дефицит N и P является весьма распространенным комбинированным фактором, ограничивающим рост фитопланктона; обогащение пресных вод обоими этими питательными элементами, как правило, сильнее влияет на производительность, чем увеличение концентраций лишь одного из них. Имеются убедительные свидетельства того, что воздействие атмосферного N_r стимулирует распространение сорных видов водной растительности, таких, как проявляющий устойчивость к азоту ситник луковичный (*Juncus bulbosus*). Рост водных сорняков влечет за собой изменения в рекреационном использовании водоемов (например, для рыбной ловли и купания) и влияет на биоразнообразие экосистем. Воздействие N_r на функционирование и структуру бедных питательными элементами экосистем, которые весьма распространены в средних широтах северного полушария (Северная Европа и Канада), изучено недостаточно.
22. Как показал ряд исследований, дополнительное поступление N в окружающую среду в прибрежных районах приводит к эвтрофикации и распространению сорных водорослей. Примеры этого наблюдаются повсюду в мире и особенно хорошо документированы

применительно к Балтийскому морю. О сравнительном вкладе атмосферного осаднения и речных стоков в эвтрофикацию прибрежных морских вод до сих пор известно мало.

D. Здоровье человека

23. При подготовке Всемирной организацией здравоохранения в 2005 году нового издания *Рекомендаций по качеству воздуха* были количественно определены рекомендуемые предельные концентрации различных загрязнителей в атмосфере. Среднегодовой уровень для NO_2 , составлявший 40 мкг м^{-3} , был оставлен без изменений. В рекомендациях указаны целевые показатели по качеству воздуха, повсеместное достижение которых должно позволить значительно сократить вредное воздействие загрязнения на здоровье человека. Совместная целевая группа по воздействию загрязнения воздуха на здоровье человека при Европейском центре по вопросам окружающей среды и здоровья человека Всемирной организации здравоохранения (ЕЦОСЗ/ВОЗ) и Исполнительный орган по Конвенции признали это важным вкладом в деятельность, осуществляемую в рамках Конвенции.

E. Материалы

24. Высокие концентрации Nr , особенно в форме весьма агрессивной азотной кислоты (HNO_3), оказывают разрушающее воздействие на ряд материалов, особенно в городских районах с интенсивным дорожным движением. Это причиняет ущерб экономике и ведет к порче объектов культурного наследия. NO_2 может выступать в роли окислителя. В ходе лабораторных экспериментов было показано, что двуокись серы (SO_2) и NO_2 способны взаимно усиливать свое воздействие на несколько видов материалов. NO_2 также может играть важную роль в разложении некоторых полимеров.

IV. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЗОТА

25. Воздействие Nr проявляется по-разному в разных экосистемах. Поэтому важно использовать инструменты, основанные на объективных критериях и позволяющие проводить комплексный анализ вредного воздействия в широких географических рамках. С помощью таких инструментов можно обеспечивать как руководящие органы, так и общественность информацией о пространственных масштабах и степени серьезности проблемы.

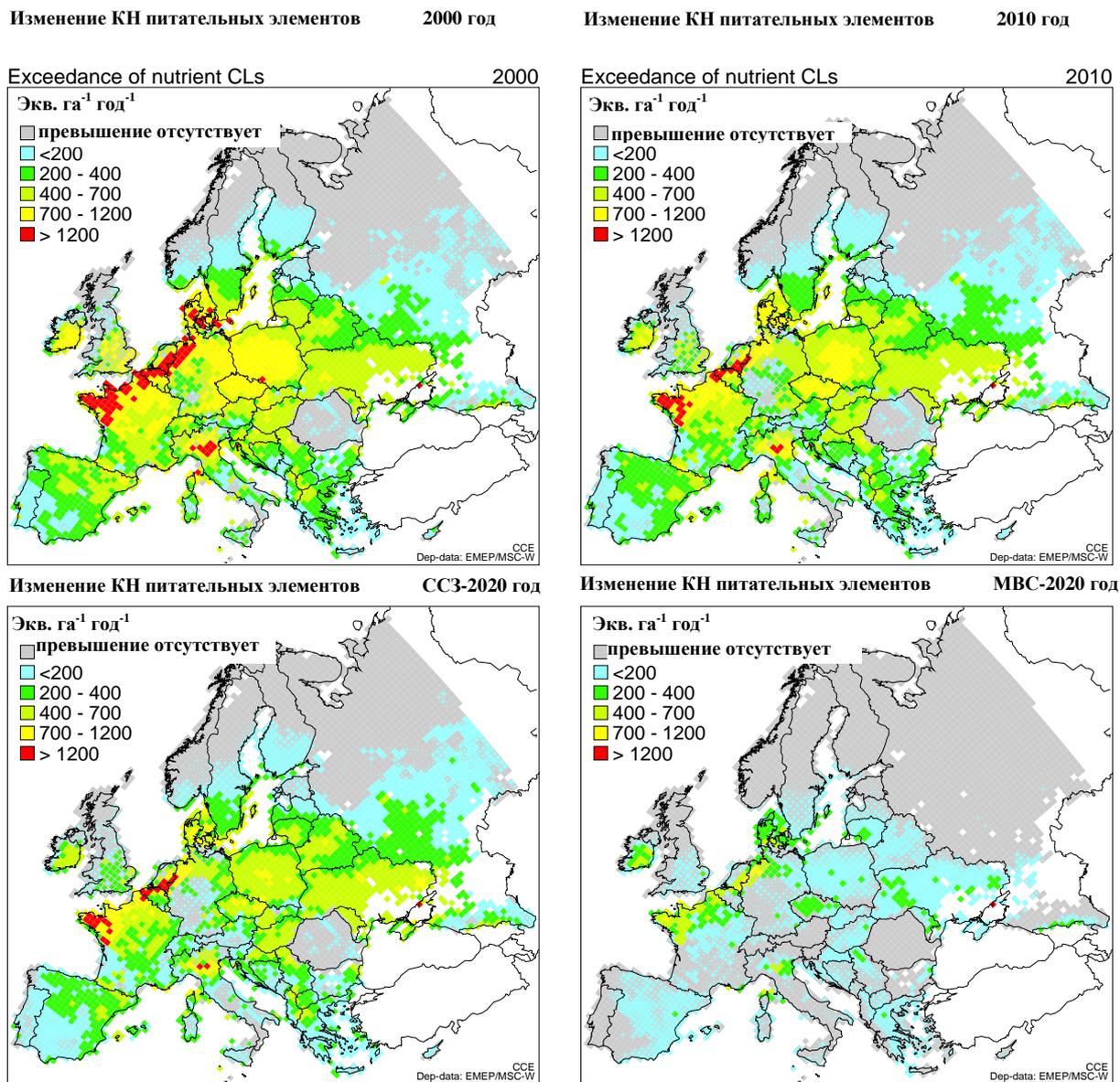
26. В случаях, когда темпы осаднения Nr ниже критических нагрузок, рассчитанных для конкретного рецептора (например, чувствительной водной экосистемы), последний может сохранять свои экологические функции и долгосрочную устойчивость к воздействию

стрессовых факторов. Когда же уровень осаднения превышает критическую нагрузку, рецептор подвергается риску пагубных последствий, которые могут наступить с течением времени. Превышение критических нагрузок питательного элемента N по эвтрофикации является ключевым показателем риска негативных последствий для структуры и функций экосистем, включая биоразнообразие.

27. Критические нагрузки по эвтрофикации превышались в двух третях образцов почв с участков уровня II, исследовавшихся в рамках МСП по лесам, что указывает на широкие масштабы проблемы осаднения N, влекущего за собой обогащение почвы этим элементом. В рамках Международной совместной программы 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) была составлена карта районов Европы, подвергающихся риску эвтрофикации в результате осаднения N; в основу расчетов были положены данные о критических нагрузках, представленные национальными координационными центрами программы, а также данные об осаднении, смоделированные на основе информации, полученной от Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП). Превышение критических нагрузок рассчитывалось для разных лет и исходя из различных сценариев осаднения. Как показывают результаты моделирования, суммарная доля европейской территории, подвергающаяся риску эвтрофикации, должна сократиться с 49% в 2000 году до 47% или до 17% к 2020 году – в зависимости от того, проводится ли расчет на основе "сценария действующего законодательства" (СДЗ) или "сценария максимальных технически возможных к 2020 году сокращений" (МВС).

28. Помимо географической площади подвергающихся риску экосистем, для оценки потребностей в мерах по борьбе с загрязнением воздуха важно учитывать также среднее накопленное превышение (СНП). Наибольшее превышение критических нагрузок отмечается, в частности, в районах интенсивного сельского хозяйства, где имеют место значительные выбросы NH_3 , – например, в отдельных частях северо-западной Европы и северной Италии.

Рис. 1. Превышение критических нагрузок по эвтрофикации, рассчитанное на основе смоделированных данных о суммарном осаждении N в 2000 (вверху слева) и 2010 (вверху справа) годах, а также к 2020 году при двух сценариях выбросов - ССЗ (внизу слева) и МВС (внизу справа)



Источники: Координационный центр по воздействию (КЦВ) и Метеорологический синтезирующий центр - Запад (МСЦ-З) ЕМЕП.

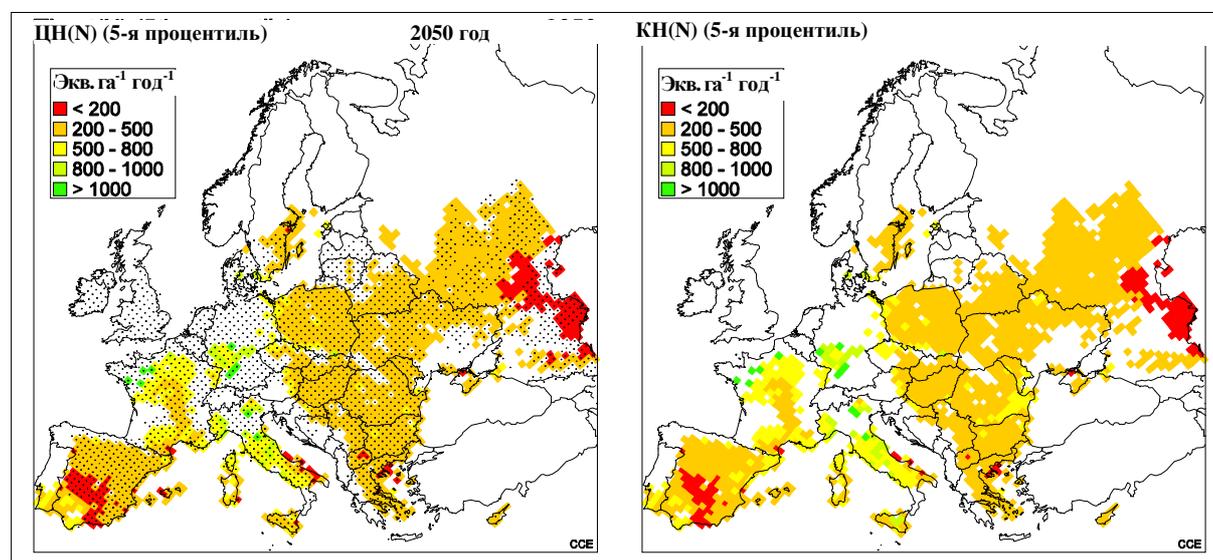
29. Проводились также расчеты превышения уровней N_r применительно к подкисляющему, а не эвтрофицирующему воздействию этих соединений. На сегодняшний день от азотного подкисления в наибольшей степени страдает ряд конкретных районов, включая юг скандинавских стран, Британские острова и Восточную Европу. Ожидается, что к 2020 году площадь этих районов значительно сократится. Расчеты по моделям показывают, что при максимальном технически возможном сокращении выбросов превышение критических нагрузок сохранится лишь в отдельных очагах.

V. МОДЕЛИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕДСКАЗАНИЯ БУДУЩЕГО

A. Динамическое моделирование воздействия на экосистемы

30. Критические нагрузки подразумевают устойчивое состояние соответствующей экосистемы. Они не учитывают происходящие с течением времени изменения функций экосистем, такие как сокращение катионного обмена в почве, находящейся под постоянным воздействием кислотных осадков. Для прогнозирования зависящих от времени изменений в состоянии экосистем модели должны отражать динамику почвенных, вегетационных или химических процессов. Моделирование позволяет предсказать изменяющуюся во времени реакцию экосистем на различные сценарии осадения. Динамические модели также могут использоваться для расчета темпов осадения, обеспечивающих достижение к заданному году критической нагрузки на данную экосистему и не превышение этой нагрузки в дальнейшем. Соответствующие целевые нагрузки по определению являются более низкими, чем критические. На рис. 2 показаны целевые нагрузки, рассчитанные с помощью простейшей динамической модели (ПДМ) в рамках МСП по разработке моделей и составлению карт.

Рис. 2. Целевые нагрузки к 2050 году (слева) и критические нагрузки (справа) по эвтрофикации, вызываемой питательным элементом N



Примечание. Черные точки указывают на то, что на данной территории имеются также экосистемы, целевая нагрузка на которые не может быть достигнута к 2050 году.

Источник: Координационный центр по воздействию (КЦВ).

31. Модель ПДН также была использована МСП по разработке моделей и составлению карт для расчета динамики отношения C/N до 2100 года. При этом для периода 1980-2100 годов было опробовано два альтернативных сценария: а) неизменные уровни осадения, соответствующие уровням 1980 года, и б) осадение при максимальном возможном сокращении выбросов. Результаты указывают на увеличение площади защищенных районов с отношением C/N > 25 с 30% до 40% и, соответственно, с 40% до 50%. Неопределенность, присутствующую в расчетах в расчетах по таким динамическим моделям европейского масштаба, можно преодолеть с помощью комплексной оценки, которой занимается Целевая группа по разработке моделей для комплексной оценки, при условии использования достаточного количества сценариев.

32. Более сложные динамические модели состояния растительности, почв и водоемов позволяют прогнозировать изменения, которых можно ожидать в связи с будущими сокращениями выбросов N. Эти модели представляют собой математическое выражение биотических и абиотических процессов, определяющих круговорот N в окружающей

среде. Их применимость для целей работы, ведущейся в рамках Конвенции, обсуждалась, в частности, в Объединенной группе экспертов по разработке динамических моделей. Эти модели также могут использоваться для определения долгосрочных последствий загрязнения воздуха в сочетании с изменением климата и изменениями в землепользовании, поскольку многие процессы, воздействующие на популяции растений и ведущие к изменению химических условий, находятся в зависимости от климата.

33. Для оценки изменений в растительных сообществах, которых можно ожидать при изменении осадения N, был использован ряд динамических моделей растительного покрова. Эти взаимоувязанные модели, которые также можно назвать цепочками или системами, представляют собой комбинацию биогеохимических моделей поведения N в почве и связанных с ними моделей развития растительности, позволяющих предсказать воздействие N на виды растений и биоразнообразие. Каждая такая система моделей имеет свои преимущества и недостатки, но все они были сочтены подходящими для прогнозирования изменений в совокупностях растительных видов и пригодности сред обитания в зависимости от атмосферного осадения и изменения климата.

34. Так, динамическая модель растительности HEATHSOL-UK использовалась для оценки долгосрочных последствий осадения N на низинных лугопастбищных угодьях в период с 1850 по 2050 год при разных режимах землепользования. Полученные результаты указывают на то, что с точки зрения регулирования состава растительных сообществ на низинных лугах и пастбищах практика землепользования не менее важна, чем уровни осадения N за последнее время. Согласно расчетам, проведенным по вышеупомянутой модели, осадение в период до 1950 года не приводило к значительному увеличению биодоступности азота, за исключением районов, где оно было крайне интенсивным. Напротив, расчеты показали, что долгосрочные последствия выпаса скота, рубки деревьев и выжигания растительности для азотного бюджета соответствующего участка в большей степени определяют чувствительность лугопастбищных угодий к усиленному осадению N. Тем не менее растительные сообщества на землях, не вовлеченных в хозяйственный оборот, могут быть весьма чувствительными к осадению N, превышающему критические нагрузки. Следует иметь в виду, что динамические модели содержат в себе элементы неопределенности, обусловленные неполным пониманием ряда процессов, протекающих с участием N в почвенной и водной среде.

35. Модель подкисления грунтовых вод в водосборных бассейнах (MAGIC) широко использовалась в странах Европы и Северной Америки для анализа химических реакций и преобразований серы (S) и N в почвах, реках и озерах. Исследования на местности

показали, что выщелачивание N из почвы в водоемы маловероятно при уровнях осаждения менее $8 \text{ kgN га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. При превышении этого порогового уровня серьезность проблемы выщелачивания как фактора эвтрофикации и подкисления вод определяется составом почв (в частности, отношением C/N) в данном водосборном бассейне и другими особенностями. Данные этих наблюдений используются в качестве основы для построения динамических моделей.

В. Моделирование воздействия на материалы

36. Воздействие различных загрязнителей воздуха на процессы коррозии рассчитывается как зависимость "доза-эффект", на которую, помимо других факторов, влияют температура и относительная влажность. Эту зависимость можно использовать для оценки темпов коррозии, которой могут подвергаться различные материалы в присутствии загрязняющих веществ. Хотя в условиях одновременного воздействия целого ряда загрязнителей оценить воздействие N, взятого в отдельности, не представляется возможным, специалистам Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая памятники истории и культуры (МСП по материалам) удалось рассчитать его удельный вес в общем воздействии. Так, воздействие HNO_3 учитывалось при определении зависимости "доза-эффект" для таких контрольных материалов, как цинк и известняк, но не включалось в расчеты для углеродистой стали. HNO_3 наряду с другими подкисляющими загрязнителями входила в число факторов, вызывавших коррозию материалов под воздействием совокупности загрязняющих веществ. Ее относительная роль была рассчитана на основе функций, выведенных для цинка и известняка.

С. Моделирование воздействия на здоровье человека

37. Информация о воздействии загрязнителей воздуха на человеческий организм была получена в ходе различных эпидемиологических, токсикологических и иных исследований. Данные о зависимости "воздействие-эффект" изучались в совокупности с рассчитанными по моделям современными и будущими уровнями концентрации и осаждения загрязнителей воздуха, а также данными о географическом распределении населения. Оценка воздействия на здоровье проводилась в основном для тех загрязнителей, прекурсором которых является газообразный N. Воздействие O_3 оценивалось по годовой сумме суточных максимумов средних восьмичасовых концентраций, превышавших 35 частей на млрд. (SOMO35). Воздействие ТЧ рассчитывалось по массе мелкодисперсных ТЧ ($\text{TЧ}_{2,5}$).

VI. ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ И СВЯЗЬ С ПОЛИТИКОЙ В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ

38. Воздействие Nr на экосистемы, здания и сооружения, а также на здоровье человека связано с воздействием других загрязняющих веществ, влияющих на взаимодействие с рецепторами. Его последствия зависят и от таких факторов, как землепользование, изменение климата и другая антропогенная деятельность. Для лучшего понимания этих проблем необходимо комплексно подходить к изучению всего цикла Nr, что и является одной из задач Целевой группы по химически активному азоту.

39. Основными антропогенными источниками атмосферного Nr являются производство продуктов питания и сжигание энергоносителей. Параметры этой деятельности меняются с изменением демографической ситуации, уровня благосостояния, конъюнктуры рынков, применяемых технологий и проводимой политики. Растет осознание того, что выбор продуктов, употребляемых человеком в пищу, непосредственно отражается на производстве продовольствия и, следовательно, на количествах образующегося Nr. Рост благосостояния и мобильности населения, глобализация и индивидуализация так или иначе оказывают прямое либо косвенное воздействие на потребление энергии и, следовательно, на образование Nr. Понимание тесных и сложных взаимосвязей между социальным поведением и выделением Nr в атмосферу имеет ключевое значение для выработки более действенной и эффективной политики.

40. Конвенция вносит важнейший вклад в разработку политики, направленной на сокращение выбросов Nr, в частности благодаря Софийскому протоколу об ограничении выбросов окислов азота или их трансграничных потоков 1988 года (Протокол о NO_x) и Гётеборгскому протоколу. Хотя в сокращении выбросов NO_x, связанных со сжиганием топлива, достигнуты немалые успехи, прогресс в сокращении выбросов NH₃ из сельскохозяйственных источников не столь значителен. Медленные темпы достижения результатов, ожидаемых от мер по сокращению выбросов NH₃ в сельском хозяйстве, объясняются следующими причинами: а) значительные различия в системах сельскохозяйственного производства и природных условиях в сочетании со сложным характером азотного цикла; б) неодинаковое толкование Сторонами целей и положений протоколов и нормативных актов; в) неохотное осуществление мер, рассматриваемых как слишком дорогостоящие для фермеров и при этом малоэффективные; д) неготовность к введению механизмов контроля за соблюдением фермерами установленных норм из-за предположительно высокого уровня связанных с этим затрат; е) задержки с введением в действие законодательства; ф) непринятие фермерами необходимых мер из-за внутрисистемных ограничений, предполагаемых и фактических издержек и необходимости длительного обучения; а также г) потенциальные

противоречия между различными мерами и, в частности, недостаточная интеграция мер по борьбе с выщелачиванием NO_x и мер, направленных на сокращение выбросов NH_3 . Эти соображения, очевидно, указывают на необходимость пересмотра и взаимной увязки сельскохозяйственной политики и политики сокращения выбросов химически активного азота.

41. Изменения в составе кормов, используемых в молочном и мясном животноводстве, могут привести к сокращению количества метана, выделяемого жвачными животными, на 5-10%. Однако при снижении содержания в кормах ингредиентов, ответственных за образование метана, обычно увеличивается белковое содержание кормов, что ведет к увеличению количества N в экскрементах жвачных животных и потенциальному росту выбросов NH_3 . Такой контрэффект бывает наиболее выраженным в случае, когда изменения производятся резко. При умеренных изменениях рациона контрэффект появляется намного слабее или отсутствует вовсе. Так, снижения белкового содержания кормов можно добиться без существенного изменения количества ингредиентов (таких, как клетчатка), вызывающих образование метана. Исследования, направленные на сокращение выделения метана жвачными животными, пока находятся в зачаточной стадии. Эта задача является сложной и требует учета многих других факторов, включая охрану здоровья животных и заботливое отношение к ним.

42. Как показывают расчеты по динамическим моделям, ограничение выбросов N важно для получения максимального восстановительного эффекта после сокращения выбросов S . Существует риск того, что более интенсивное выщелачивание N сведет на нет полезные результаты, ожидаемые при сокращении выбросов S , и приведет к дальнейшему падению рН в пресных водах. Значительные сокращения осаждения S в период с 1980 по 2000 год в большинстве случаев должны были остановить процесс снижения насыщения почвы основаниями, однако продолжающееся интенсивное осаждение N не позволяло рассчитывать в будущем на заметное восстановление уровней кислотности почв. Исследования, проводившиеся на участках МСП по комплексному мониторингу, показали, что изменение климата практически наверняка будет вызывать изменения в экосистемах, не зависящие от осаждения N из атмосферы. Поэтому почти нет оснований рассчитывать на возвращение экосистем некоторых районов к состоянию, в котором они находились до начала индустриальной эпохи.

43. Взаимодействие C и N влияет на процесс связывания C почвой и растительностью. В прошлом усиленное осаждение N приводило к более активному накоплению C в лесных массивах, одновременно сокращая его в некоторых других природных экосистемах, таких как болота. В долгосрочной перспективе рост поглощения N_g будет увеличивать опасность его более интенсивного выщелачивания, пагубно влияющего на водную среду и

влекущего за собой серьезные последствия при последующем поступлении химически активного азота в океаны.

44. Согласно недавно полученным данным, суммарное поглощение С находится в диапазоне 20-75 кгС/кгN, однако последствия этого ощущаются недостаточно из-за роста выбросов N₂O. Реакции наземных экосистем на рост поступления N можно ожидать лишь там, где существует его дефицит. В районах с высоким осаждением N дальнейшее удобрение азотом может не иметь полезного эффекта и оказывать неблагоприятное воздействие на рост биомассы из-за азотной эвтрофикации и подкисления лесов. Так, в Нидерландах, на участке леса, характеризовавшемся высокой насыщенностью N, ускорение роста сосны обыкновенной имело место после того, как осаждение N на почву было уменьшено путем возведения навеса. N может оказывать негативное воздействие на поглощение С торфяниками. Вызываемая N эвтрофикация приводит к изменению растительного покрова, и прежде всего к потере таких торфообразующих видов, как *Sphagnum*, вытесняемых травами и мхами. Это может сокращать и даже сводить на нет положительное воздействие осаждающегося N на связывание С, создавая угрозу для уже существующих торфяников как резервуаров углерода. Таким образом, представляется рискованным полагаться на поддержание высоких уровней осаждения N в качестве меры, противодействующей изменению климата.

45. Фактор землепользования не рассматривался в большинстве современных оценок, касающихся последствий осаждения N. Моделирование растительного покрова указывает на необходимость осторожной интерпретации результатов исследований, в которых проводится связь между современными уровнями осаждения N и недавними изменениями в окружающей среде, а также биологическими индикаторами возможных изменений. Осаждение N может быть трудноразличимым показателем для этих целей на фоне исторических изменений в землепользовании. Результаты, полученные в Соединенном Королевстве, позволяют предположить, что чувствительность наземных систем к уровням осаждения N может увеличиваться под воздействием экстремальных климатических условий; одновременно с этим при потеплении климата растительные экосистемы будут подвергаться более активному воздействию патогенных организмов.

46. Хотя деятельность по линии МСП базировалась преимущественно в Европе, связанная с ними работа велась и в Северной Америке. Она касалась вторичного воздействия N, и в частности ущерба, причиняемого растительности озонем. Результаты недавних исследований малодоступных озер в Скалистых горах на территории США и в арктических районах Канады указывают на изменение состава видов озерных водорослей при крайне низких уровнях осаждения N. Исследования, проводившиеся в Канаде по разработанным в Европе показателям, позволили выявить целый ряд

сельскохозяйственных и промышленных районов, где превышаются критические нагрузки по эвтрофикации.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

47. Воздействие N_r на окружающую человека среду включает подкисление и эвтрофикацию почв и вод, загрязнение и коррозию материалов, а также повышенную опасность для здоровья, связанную прежде всего с воздействием вторичных ТЧ. Рост осаждения N_r заметно способствует сокращению биоразнообразия растений в некоторых экосистемах.

48. Конвенция играет ключевую роль в выработке политики, направленной на сокращение выбросов N. Эта политика позволила значительно уменьшить выбросы NO_x, в частности при сжигании топлива. Однако в части сокращения выбросов NH₃ в сельском хозяйстве удалось добиться сравнительно немногого.

49. Несмотря на наличие соответствующего законодательства, выбросы и осаждение N продолжают оказывать вредное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. В процессе пересмотра Гётеборгского протокола необходимо разработать дальнейшие меры по снижению концентраций N, и в частности по сокращению выбросов NH₃.

50. В будущем изменение климата почти наверняка повлияет на роль N как загрязнителя воздуха. Поэтому важно наращивать усилия по мониторингу и изучению воздействия N.
