



Европейская экономическая комиссия

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

Рабочая группа по воздействию

Тридцатая сессия

Женева, 27–29 сентября 2011 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

**Последние результаты и обновление
научно-технической информации**

Воздействие загрязнения воздуха на экосистемы, здоровье человека и материалы в различных сценариях согласно Гётеборгскому протоколу¹

Краткое резюме – Предварительный доклад Рабочей группы по воздействию

I. Рассматриваемые сценарии

1. Данное исследование, которое проводится по решению Бюро Рабочей группы по воздействию, преследует цели:

а) получить информацию о воздействии загрязнения воздуха на экосистемы, здоровье человека и материалы в поддержку решений о пересмотре Гётеборгского протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол);

б) продемонстрировать применение новых научных знаний и показателей, разработанных за период с 1999 года, в целях иллюстрации потенциального воздействия политики/решений на окружающую среду, здоровье человека и материалы;

¹ Гётеборгский протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1991 года.

с) проиллюстрировать эффективность использования сценариев выбросов для улучшения состояния окружающей среды и здоровья человека.

2. Настоящее исследование было проведено Международными совместными программами (МСП) и Совместной целевой группой по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека (Целевой группой по здоровью) и Рабочей группой в период с октября 2010 года по февраль 2011 года. За основу в нем взяты сценарии выбросов загрязнителей воздуха (серы (S), азота (N), озона (O₃) и твердых частиц (ТЧ)), данные по которым были представлены Целевой группой по разработке моделей для комплексной оценки и Совместной программой наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП) в октябре 2010 года (их описание содержится в докладе 1/2010 Центра по разработке моделей для комплексной оценки (ЦРМКО))². Соответствующие данные были отформатированы Координационным центром по воздействию (КЦВ) в целях содействия работе МСП по моделированию и сопоставлению с полевыми данными. Результаты были представлены и обсуждались на различных совещаниях в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (Конвенция по воздуху) в период с февраля по май 2011 года.

3. В настоящем докладе представлены три сценария:

а) NAT2000: исторические данные за 2000 год основаны главным образом на информации, полученной из стран;

б) NAT2020: данные получены исходя из сценария действия нынешнего законодательства для 2020 года главным образом на основе представленных странами экономических прогнозов;

в) PRI2020 и PRI2030: данные получены исходя из сценария действия нынешнего законодательства для 2020 и 2030 годов и основаны главным образом на экономических прогнозах, полученных с помощью модели PRIMES³;

г) MTFR2020: данные основаны на сценарии, предполагающем внедрение к 2020 году всех технически возможных технологий.

4. Прогнозы NAT и PRI представляют собой так называемые базовые сценарии: они позволяют оценить объемы выбросов в том случае, если не будут приняты новые законы. Сценарий MTFR показывает объем сокращения, который был бы достигнут в случае введения максимально рестриктивного законодательства. Любое решение, в результате которого достигается сокращение выбросов, приводит к ситуации между базовым сценарием и сценарием MTFR. С более подробной информацией об этих прогнозах и сценариях можно ознакомиться в докладе ЦРМКО 1/2010.

5. С октября 2010 года в сценарии выбросов были внесены некоторые изменения, главным образом с учетом рекомендаций Рабочей группы по стратегиям и обзору. В этой связи, как ожидается, летом/осенью 2011 года в работу по этому направлению будут внесены коррективы для обеспечения тесной корреляции сценариев выбросов, которые будут использоваться на последнем этапе пересмотра Гётеборгского протокола, который будет реализован в конце 2011 или начале 2012 года.

² С текстом доклада можно ознакомиться на вебсайте Международного института прикладного и системного анализа по адресу:
http://gains.iiasa.ac.at/reports/CIAM/CIAM_report_1-2010_v2.pdf.

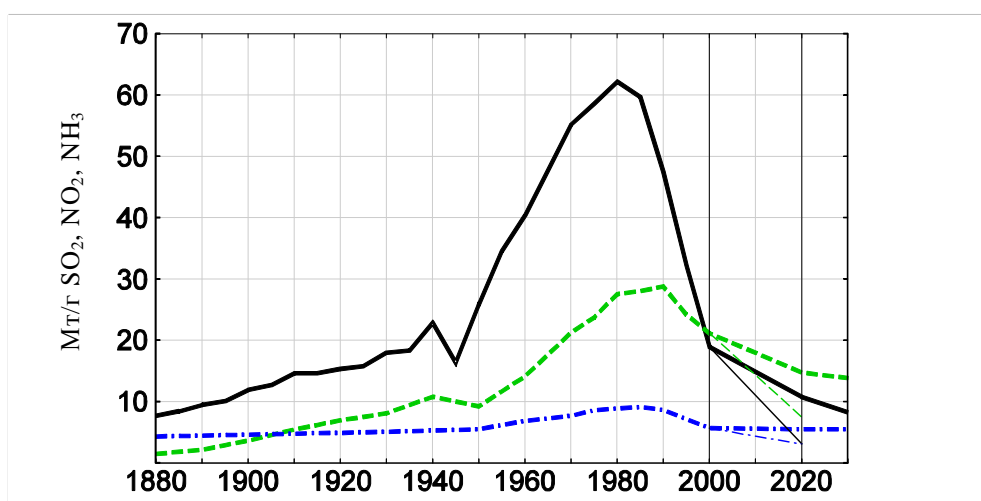
³ PRIMES – модель энергетической системы, разработанная Европейской комиссией.

II. Воздействие и тренды

6. В результате принятия норм в области загрязнения воздуха, включая протоколы к Конвенции по воздуху, было достигнуто значительное снижение концентрации серы и азота в воздухе и уровня их осаждения в экосистемах. Тренды указывают на более чем 70-процентное сокращение выбросов серы в Европе в 2010 году в сравнении с 1980 годом, а также на примерно 50-процентное сокращение за тот же период общего объема выбросов азота (см. рис. 1). Последствия этого сокращения выбросов были зарегистрированы в сети мониторинга в рамках Конвенции по воздуху, и настоящий доклад иллюстрирует некоторые его результаты.

Рис. 1

Динамика выбросов серы (сплошная линия), оксида азота (пунктирная линия) и аммиака (штрихпунктирная линия) в Европе, 1880–2030 годы



Примечание: Начиная с 2000 года объем выбросов рассчитывается по сценарию NAT2000. После 2020 года используются сценарии NAT2020 и PRI2030. Тонкие линии описывают сценарий MTFR для 2020 года. (Следует помнить, что сценарий PRI2020 очень близок к NAT2020.)

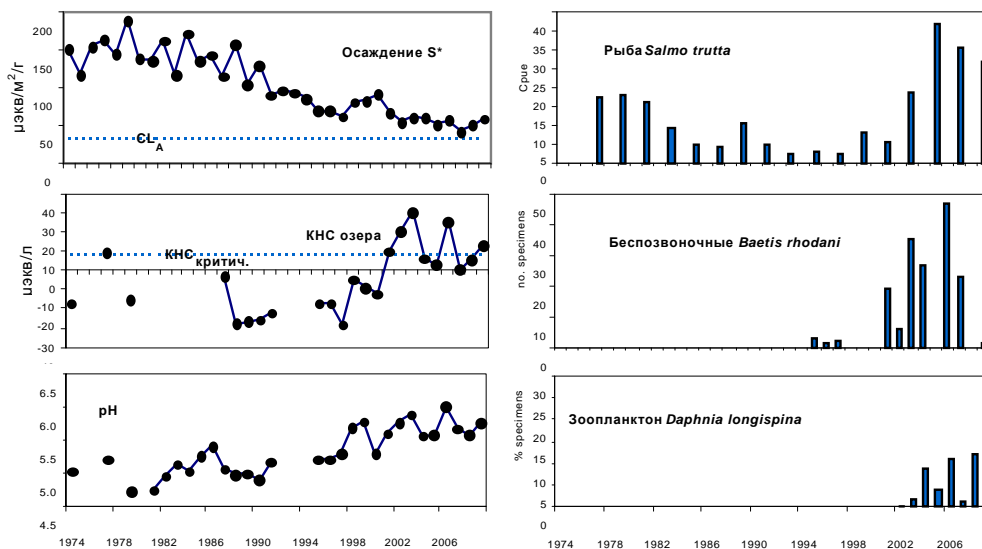
7. Рабочая группа по воздействию разработала, скомпилировала и обобщила за несколько десятилетий значительный объем межсекторальных научных знаний, относящихся к воздействию загрязнения воздуха на экосистемы, здоровье человека и материалы. Осуществляемая МСП и Целевыми группами деятельность по мониторингу и моделированию позволяет анализировать динамику и тренды биотических и абиотических параметров экосистем. Для иллюстрации воздействия повышения и снижения загрязнения воздуха на окружающую среду были отобраны три примера. Более подробно с результатами можно ознакомиться на вебсайтах Рабочей группы по воздействию, МСП и Целевых групп, а также в научной литературе.

8. *Пример 1.* Результаты мониторинга состояния озера Саудландсватн в южной Норвегии в течение 35 лет указывают на (смоделированное) сокращение осаждения загрязнителей с 1970-х годов (см. рис. 2), в результате чего имело место увеличение некоторых критических химических параметров, таких как кислотонейтрализующая способность (КНС) и pH и создание благоприятных условий для начала биологического восстановления данной экосистемы. Таким образом, после практически полного исчезновения форели в 1980-х годах ее

популяция вновь увеличилась в 2000-х годах, при этом в озере вновь появились исчезнувшие много лет назад беспозвоночные и зоопланктон.

Рис. 2

Долгосрочное осаждение, данные мониторинга химических и биологических параметров для озера Саудландсватт, контрольный участок МСП по водам⁴ в южной Норвегии

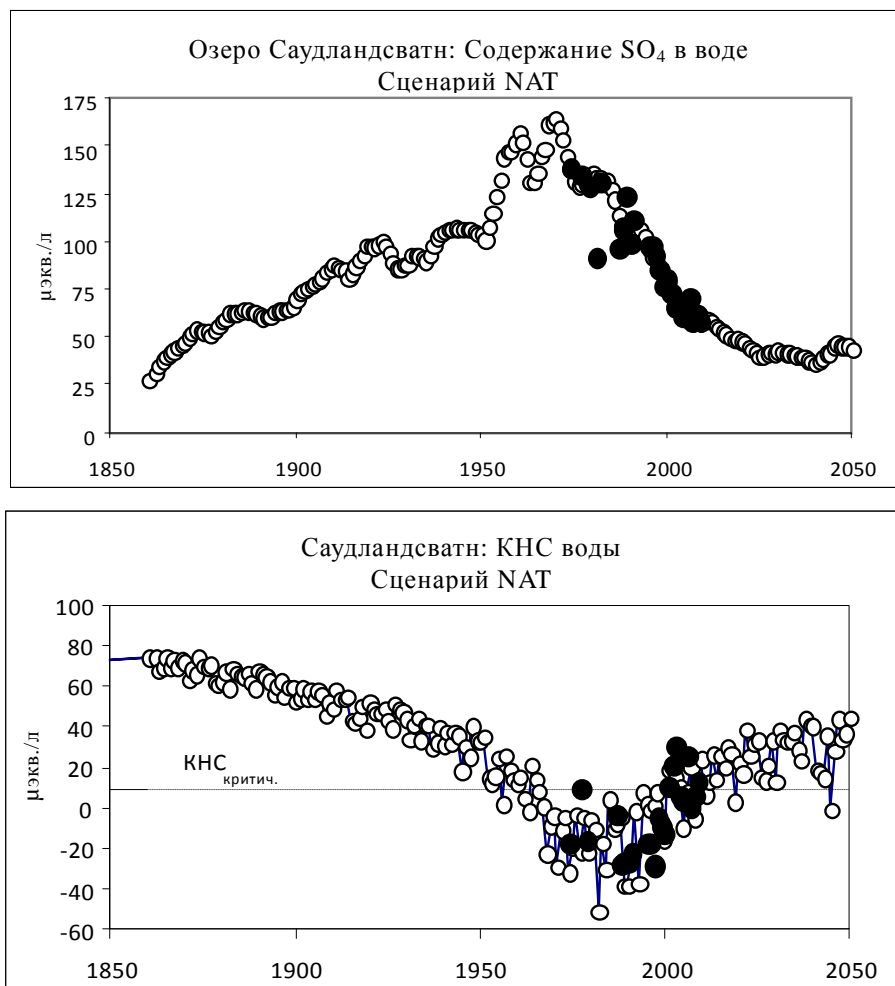


Примечание: Рисунок иллюстрирует неморское осаждение S (S*), КНС озера и показатель pH, улов на единицу промыслового усилия (УЕПУ) (озерная форель), ряд отловленных образцов кислоточувствительных мух-однодневок *B. rhodani*, а также процент собранных образцов кислоточувствительных видов зоопланктона *D. Longispina*.

9. Сценарии выбросов на 2020 год и последующий период указывают на снижение концентрации подкисляющих соединений, при этом, согласно этим сценариям, динамическое моделирование (рис. 3) подтверждает восстановление КНС, хотя значение этого параметра находится вблизи критического предела и может не достигнуть к 2050 году уровней 1900 года. Этот пример иллюстрирует восстановление подкисленной экосистемы, временной период между сокращением выбросов и биологическим восстановлением, а также степень этого восстановления.

⁴ Международная совместная программа по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на реки и озера.

Рис. 3
Измеренные (красные квадраты) и полученные с использованием модели MAGIC (синие ромбы) значения концентрации сульфата (SO_4) и КНС в озере Саудландсватн



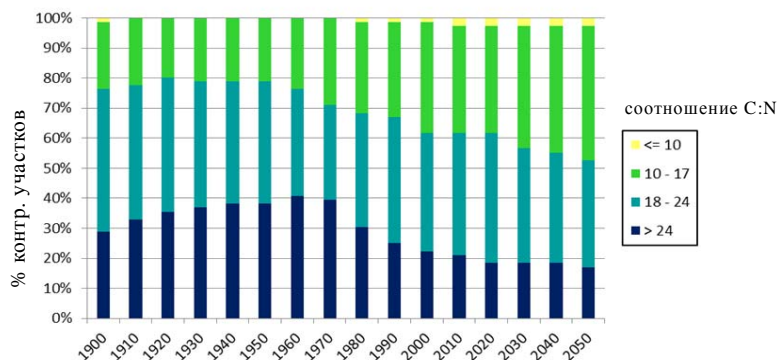
Примечание: Будущие смоделированные значения указывают, что осаждение S^* будет соответствовать данным по сценарию NAT на 2000 и 2020 годы и иметь постоянный уровень после 2020 года.

10. *Пример 2.* Международной совместной программой по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса (МСП по лесам) было проведено моделирование динамики параметров почвы на 77 контрольных участках в различных странах Европы. Что касается подкисления, то почвенный показатель pH, как ожидалось, меняется в зависимости от увеличения или снижения уровня осаждения серы, а поступление в почву базовых катионов характеризуется долговременной тенденцией к снижению. Хотя тренды выбросов снижают подкисляющее воздействие на ряде контрольных участков, в период после 1950-х годов отмечается увеличение концентрации азота в почве, и, как показывают прогнозы, эта тенденция будет прослеживаться и после 2020 года (рис. 4). Произведенные измерения на контрольных участках МСП по водам указывают на то, что в течение последних 30 или более лет в почве происходило накопле-

ние азота. Избыток азота в почве может приводить к смещению баланса в пользу эвтрофных экосистем (как показано на рис. 4) и исчезновению видов, живущих в средах с низким уровнем содержания азота. Кроме того, как ожидается, на определенном этапе произойдет насыщение почв и азот будет вымываться в водоемы. Это может еще более нарушить биогенный баланс в пресноводных водоемах и прибрежных водах.

Рис. 4

Общие тренды динамики соотношения концентрации углерода и азота (C:N), рассчитанные по модели ПДМ⁵ и классифицированные по уровню содержания азота



Примечание: Будущий сценарий основан на NAT2020. Процентная доля эвтрофичных (C:N около 10–17) и гипертрофичных (C:N менее 10) контрольных участков, как ожидается, будет возрастать после 2020 года.

11. *Пример 3.* В рамках Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры (МСП по растительности) в период после 1990 года были отмечены видимые симптомы повреждений, связанных с загрязнением озоном, причем общее количество зарегистрированных симптомов превышает 600. Был разработан новый показатель воздействия для озона (фитотоксичная доза озона (ФДОу)), который обеспечивает более тесную корреляцию между зонами с вызванным озоном повреждением и картами потока озона (ФДОу) по сравнению с картами АОТ40⁶.

12. Полученные с использованием сценариев NAT оценки указывают на то, что экономические потери в результате воздействия озона на пшеницу в 27 государствах Европейского союза (EU-27) плюс Швейцария и Норвегия составили в 2000 году 3,2 млрд. евро и снизятся до 1,95 млрд. евро в 2020 году. Хотя процентный показатель снижения урожайности пшеницы согласно NAT2020 уменьшится, ожидается крайне незначительное сокращение доли квадратов сетки, в которых будет превышен критический уровень. Пропорциональные снижения урожайности и экономической стоимости томатов, которые играют важную роль в южных регионах, были аналогичны показателям для пшеницы по сценарию NAT2020 в сравнении со сценарием NAT2000.

⁵ (Очень простая) модель подкисления почвы, разработанная Координационным центром по воздействию.

⁶ Индекс совокупной экспозиции по озону.

Прогнозируемое воздействие загрязнения озоном на урожайность и экономическую стоимость пшеницы и томатов в сочетании с превышением критического уровня в ЕС-27 плюс Швейцария и Норвегия в 2000 году и 2010 году в соответствии со сценарием сохранения действующего законодательства (сценарий NAT)

	Пшеница		Томаты	
	NAT2000	NAT2020	NAT2000	NAT2020
Экономические потери (млрд. евро)	3,20	1,95	1,07	0,63
Процентная доля квадратов сетки ЕМЕП с превышением критического уровня*	84,8	82,2	76,4	49,5
Среднее снижение урожайности в процентах*	13,7	9,1	9,4	5,7

Примечание: Для анализа использовалась сетка ЕМЕП с размером ячейки 50 x 50 км, а также величина урожайности в 2000 году и устичный риск по озону на основе потока.

* Расчет для квадратов сетки, в которых выращивается данная культура.

III. Обсуждение и выводы

13. Результаты мониторинга и моделирования, проведенные Рабочей группой по воздействию, показывают, что величина воздействия загрязнения воздуха будет снижаться в базовых сценариях (NAT2020 и PRI2020) и сценарии MTFR. Вместе с тем, как было показано выше и о чем также говорится ниже, ни один из сценариев не указывает на исчезновение к 2020 году любого из рассмотренных видов воздействия (подкисление, эвтрофикация, воздействие озона, повреждение и коррозия материалов, воздействие на здоровье человека).

A. Подкисление

14. Результаты, полученные 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), указывают на то, что подкисление будет оставаться проблемой на 2–4% территории зоны ЕМЕП. Это согласуется с прогнозами МСП по водам и Международной совместной программы по комплексному мониторингу воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП по комплексному мониторингу), чьи данные наблюдений и результаты моделирования свидетельствуют о том, что большинство подкисленных участков не восстановятся к 2020 году. Кроме того, расчеты, произведенные МСП по лесам, показывают, что большинство контрольных участков МСП по лесам будет защищено от подкисления по базовому сценарию и все они будут защищены в сценарии MTFR. Вместе с тем возможна тенденция низкого насыщения лесных почв базовыми катионами. В долгосрочной перспективе это может привести к неблагоприятным последствиям для биогенного состояния почв, а также для поступления базовых катионов в пресную воду.

В. Эвтрофикация

15. Эвтрофикация остается и останется в будущем серьезной проблемой. В сухопутных экосистемах избыточное поступление азота приводит к его накоплению в почве с последующим вымыванием в водоемы. Это может провоцировать изменения в видовом разнообразии и повышать уязвимость растений к насекомым, грибковому поражению или засухе. Расчеты, проведенные в рамках МСП по моделированию и составлению карт, подтверждаются оценками МСП по комплексному мониторингу и МСП по лесам: в 2020 году, согласно базовому сценарию, более 60% территории ЕС-27 и 35% территории ЕМЕП будут по-прежнему подвержены риску эвтрофикации. Амплитуда превышения на контрольных участках МСП по комплексному мониторингу, которые расположены в районах фоновых концентраций вдали от местных источников, составит 2–5 кг на гектар в год (кг/га/г). МСП по моделированию и составлению карт произвела расчет величин максимального превышения (около 10 кг/га/г) для Нидерландов. Кроме того, как показано на рис. 4, согласно исходным прогнозам, доля эвтрофичных (C:N около 10–17) и гипертрофичных (C:N менее 10) контрольных участков в районах мониторинга МСП по лесам, как ожидается, будет по-прежнему снижаться после 2020 года.

16. Вклад аммиака в нанесение ущерба экосистемам будет по-прежнему значительным по всей Европе в соответствии с базовым сценарием. В 2020 году значение концентрации на большей части территории Европы будет выше критического уровня для лишайников и мхов (1 микрограмм на кубический метр ($\mu\text{г}/\text{м}^3$)) в соответствии с базовым сценарием. На обширных территориях, особенно в скотоводческих районах (Бретань во Франции, Нидерланды, Северная Италия), среднегодовое значение концентрации будет по-прежнему выше критического предела для высших растений ($2 \mu\text{г}/\text{м}^3$ – $4 \mu\text{г}/\text{м}^3$).

С. Озон

17. Озон оказывает воздействие на здоровье человека, естественную растительность, леса, лугопастбищные угодья и сельскохозяйственные культуры. Результаты, полученные МСП по растительности, показывают, что озоновое загрязнение может частично подавлять глобальную абсорбцию углерода за счет неблагоприятного воздействия на рост растений. Оно может также приводить к снижению устойчивости растений к засухе. К числу районов с особым риском озонового воздействия относится Южная Европа, однако в зону риска также входят большинство центральных и южных районов Северной Европы. Прогнозируемое снижение загрязнения воздуха может привести к уменьшению концентрации озона, однако, согласно базовому сценарию, например, потери урожайности пшеницы будут по-прежнему превышать 5% в более чем 80% квадратах сетки ЕМЕП. Результаты расчетов Целевой группы по аспектам здоровья свидетельствуют о том, что на сегодняшний день в ЕС-25 высокая концентрация озона ($>35 \times 10^{-9}$ или $70 \mu\text{г}/\text{м}^3$) ежегодно приводит к преждевременной смерти 21 000 человек. Даже полное осуществление нынешнего законодательства позволит обеспечить лишь незначительное снижение этой величины преждевременной смертности.

D. Твердые частицы

18. ТЧ повышают уровень заболеваемости и смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, при этом они являются причиной 300 000 преждевременных смертей в год в Европе. Недавно проведенное в Соединенных Штатах Америки исследование показало, что снижение уровня ТЧ за последние 20 лет привело к улучшению состояния здоровья населения. В этом исследовании было показано, что снижение концентрации мелкодисперсных ТЧ (ТЧ_{2,5}) на 10 $\mu\text{г}/\text{м}^3$ приводит к увеличению ожидаемой продолжительности жизни на 7,3 месяца. Целевая группа по аспектам здоровья провела сопоставление рисков для здоровья, связанных с сажевым углеродом и ТЧ_{2,5}. Был сделан вывод о том, что, несмотря на наличие достаточных данных, подтверждающих риск для здоровья, связанный с воздействием сажевого углерода, он не является достаточным для обоснования замены ТЧ_{2,5} сажевым углеродом в качестве относящегося к здоровью показателя конкретного вида загрязнения атмосферы.

19. ТЧ и другие загрязнители воздуха также являются причиной загрязнения и коррозии, вызывающих повреждение строительных материалов и объектов культурного наследия. Международная совместная программа по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая памятники истории и культуры (МСП по материалам), установила взаимозависимость "доза-реакция" и предложила целевые показатели на 2020 и 2050 годы. Эти целевые показатели соответствуют допустимым уровням коррозии и загрязнения. К примеру, предлагаемый допустимый уровень для загрязнения предполагает уровни концентрации крупнодисперсных ТЧ (ТЧ₁₀) менее 20 $\mu\text{г}/\text{м}^3$ для 2020 года и менее 10 $\mu\text{г}/\text{м}^3$ для 2050 года. Расчеты, произведенные в масштабе сетки ЕМЕП (50 x 50 км²), показывают, что при исходном сценарии более жесткие целевые показатели для 2050 года будут достигнуты на почти 88% территории зоны ЕМЕП, тогда как практически на всех из 12 оставшихся процентов будет обеспечено выполнение целевых показателей для 2020 года. Вместе с тем сравнение с данными полевых измерений показывает, что эти расчеты являются слишком оптимистичными и что города являются наиболее проблемными зонами загрязнения и, по всей видимости, останутся в зоне более высокого риска, чем об этом свидетельствуют величины, используемые для масштаба сетки 50 x 50 км² в данной оценке.

E. Экономическое воздействие и воздействие на экосистемные услуги

20. В настоящее время подготовка оценок экономического воздействия осуществляется в рамках модели взаимодействия и синергизма парниковых газов и загрязнения воздуха (GAINS) только по показателям воздействия на здоровье человека. Вместе с тем ряд МСП активизируют свою работу в области увязки вышеуказанных воздействий с экосистемными услугами или экономическими затратами или и тем и другим. Как было указано выше, недавно полученные в рамках МСП по растительности данные свидетельствуют о том, что величина экономического ущерба в результате повреждения сельскохозяйственных культур (пшеницы) озоном в Европе составляет около 3 млрд. евро. Показатели МСП по материалам могут быть также в будущем увязаны с конкретными издержками. Воздействие загрязнения воздуха на экосистемы может быть оценено с точки зрения обеспеченности питьевой водой, устойчивости лесов к насекомым-вредителям и засухе (что может быть выражено через качество древеси-

ны), а также с точки зрения качества рекреационных районов (например, воздействия на любительское рыболовство).

21. В заключение следует отметить, что даже при условии полного (гипотетического) осуществления сценария МТFR для 2020 года многие районы будут по-прежнему подвергаться риску неблагоприятного воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (включая сельскохозяйственные культуры), здоровье человека и материалы. Подкисление станет в перспективе вызывающей наименьшую обеспокоенность проблемой. Вместе с тем значительные территории в Европе будут по-прежнему подвержены серьезному негативному воздействию эвтрофикации (загрязнению азотом), воздействию озона и ТЧ (включая сажистый углерод).
