

**Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

Двадцать девятая сессия
Женева, 12–16 декабря 2011 года
Пункт 5 предварительной повестки дня
Ход осуществления основных видов
деятельности и плана работы на 2011 год

***Европейская оценка азота: резюме для директивных
органов***

**Представлено Сопредседателями Целевой группы
по химически активному азоту**

Резюме

В *Европейской оценке азота*¹ предлагается набор из семи ключевых направлений действий, тесно связанных с целями Гётеборгского протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол) к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Поскольку Гётеборгский протокол сейчас пересматривается, Рабочая группа Конвенции по стратегиям и обзору предложила на своей сорок восьмой сессии Сопредседателям Целевой группы по химически активному азоту представить ее сорок девятой сессии в сентябре 2011 года резюме *Европейской оценки азота* для директивных органов с целью его дальнейшего препровождения Исполнительному органу в декабре 2011 года в качестве официального документа для информирования участников пересмотра Гётеборгского протокола (ECE/EB.AIR/WG.5/104, пункт 42 d)). Документ также актуален с точки зрения осуществления долгосрочной стратегии Конвенции.

¹ M. A. Sutton, C. M. Howard, J. W. Erisman et al., eds. (Cambridge University Press, 2011).
Публикация доступна по адресу <http://www.nine-esf.org/ENA>.

Содержание

	<i>Стр.</i>
I. Основные идеи	4
A. Слишком большое количество азота вредит окружающей среде и экономике	4
B. Каскадные воздействия и балансы азота.....	4
C. Политика и управление	4
D. Международное сотрудничество и коммуникация	5
II. Почему азот? Озабоченности и потребность в новых решениях	5
III. Роль <i>Европейской оценки азота</i> и применявшийся в ней подход	6
IV. Нарушение круговорота азота в Европе	7
A. Удобрения, энергетика и транспорт: движущие факторы увеличения поступлений азота	7
B. Каскадные превращения азота	8
C. Новый баланс азота для Европы	8
D. Достижения и ограничения нынешней политики	9
V. Выгоды от применения азота в сельском хозяйстве и его эффективность	10
A. Азотные удобрения как источник элементов питания в Европы	10
B. Значительные различия в производстве зерна и мяса в качестве источника потерь N _r , уходящего в окружающую среду	11
C. Колебание эффективности использования азота как индикатор возможностей для нахождения решений	11
VI. Основные угрозы для общества, связанные с избытком азота	12
A. Азот как угроза качеству воды в Европе	12
B. Азот как угроза качеству воздуха в Европе	13
C. Азот как угроза балансу парниковых газов в Европе	13
D. Азот как угроза наземным экосистемам и биоразнообразию в Европе.....	14
E. Азот как угроза качеству почв в Европе	14
VII. Экономические аспекты присутствия азота в окружающей среде	15
A. Оценка потери благосостояния вследствие выбросов азота в Европе	15
B. Будущие меры по смягчению воздействия азота в Европе и соответствующие сценарии	16
VIII. Возможности применения комплексных подходов к управлению потоками азота	17
A. Целостный взгляд на управление каскадными превращениями азота	17
B. Семь ключевых направлений действий по улучшению управления каскадными превращениями азота	18
IX. Вызовы для общества и политики	

A. Место азота в многосторонних природоохранных соглашениях и будущих исследованиях	19
B. Общественный выбор, осведомленность общественности и изменение моделей поведения	20

Список диаграмм

1. Расчетный тренд антропогенных поступлений химически активного азота в окружающую среду на территории Европейского союза (ЕС-27)	22
2. Упрощенное изображение каскадных превращений азота с отражением процесса улавливания атмосферного N_2 с целью его преобразования в N_f с использованием процесса Хабера-Боша – крупнейшего источника образования N_f в Европе	22
3. Упрощенное сопоставление круговорота азота в Европе (ЕС-27) в 1900 и 2000 годах	23
4. Расчетные тренды выбросов химически активного азота в Европе в период 1900–2000 годов (ЕС-27)	23
5. Вариации в использовании азотных удобрений при выращивании озимой пшеницы на территории Европейского союза (красный цвет – ЕС-15, синий цвет – ЕС-12) приблизительно в 2000 году	24
6. Диапазон эффективности усвоения N_f при выращивании животных в сельском хозяйстве Европы (кг N в весе съедобных частей на кг N в корме для животных)	24
7. Пять основных угроз для общества от избытка химически активного азота, представленных по аналогии с "элементами" классической греческой космологии ..	25
8. Расчетные экологические издержки, вызванные выбросами химически активного азота в воздух и воду в ЕС-27	25
9. Сценарии изменения объема выбросов азота в ЕС-27, подготовленные на основе репрезентативных динамик концентрации (РДК) для трех различных вариантов изменения показателя радиационного форсинга	26

I. Основные идеи

A. Слишком большое количество азота вредит окружающей среде и экономике

- За последнее столетие деятельность людей вызвала беспрецедентные изменения в глобальном круговороте азота с преобразованием молекулярного азота атмосферы (N_2) в многочисленные химически активные формы азота (N_f), при этом общий объем фиксации N_f в мире увеличился в два раза, а в Европе – более чем в три раза.
- Рост использования N_f в качестве удобрения создает возможности для увеличения численности населения мира, но оказывает значительные неблагоприятные воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Можно выделить пять основных угроз для общества со стороны N_f : для качества воды, качества воздуха, балансов парниковых газов, экосистем и биоразнообразия, а также качества почвы.
- Анализ затрат и выгод позволяет четко увидеть, насколько общие экологические издержки, связанные со всеми видами потерь N_f в Европе (при нынешних уровнях они оцениваются в 70–320 млрд. евро в год), перевешивают прямые экономические выгоды от использования N_f в сельском хозяйстве. Наибольшие издержки для общества связаны со снижением качества воздуха и воды, обусловленным его воздействиями на экосистемы, и особенно на здоровье человека.

B. Каскадные воздействия и балансы азота

- Различные формы N_f переходят друг в друга в процессе миграции в окружающей среде так, что один атом N_f может принимать участие в многочисленных воздействиях на нее, пока не будет иммобилизован или в конечном счете не превратится опять в N_2 . Таким образом, превращения антропогенного N_f можно рассматривать как каскад преобразований форм N_f и его воздействий. Он показывает, как политические меры реагирования на различные формы N_f и вызываемые ими проблемы связаны друг с другом, а также позволяет увидеть необходимость применения целостного подхода с доведением до максимума синергизма в борьбе с загрязнением и сведением к минимуму нежелательных сдвигов в структуре загрязнения.
- Основой для разработки и отбора мер по сокращению выбросов и их воздействий на все компоненты окружающей среды являются балансы азота. Например, европейский баланс азота показывает роль поголовья скота как движущего фактора круговорота азота в Европе.

C. Политика и управление

- Нынешняя политика по отношению к N_f во многих аспектах формировалась разрозненно – с разделением форм N_f , компонентов среды и секторов. Несмотря на усилия, предпринимавшиеся в течение многих лет для уменьшения поступления N_f в окружающую среду, большинство связанных с N_f задач по

обеспечению качества окружающей среды и большинство целей экологических действий до настоящего времени не выполнено.

- Исходными точками для более целостного управления потоками N_r являются пять упомянутых угроз для общества и балансы N. В Европейской оценке азота определен набор из семи ключевых направлений действий по общему управлению круговоротом азота в Европе. Эти ключевые направления касаются следующего: сельского хозяйства (три направления), транспорта и промышленности (одно направление), очистки сточных вод (одно направление) и моделей потребления в обществе (два направления).
- Эти ключевые направления действий обеспечивают комплексный набор средств для разработки и применения инструментов политики. Потребность в наличии такого набора подчеркивается в анализе затрат и выгод, показывающем долгосрочную роль нескольких форм N_r , особенно оксидов азота (NO_x), аммиака (NH_3) и N_r , теряемого в результате выноса в воду, а также закиси азота (N_2O).

D. Международное сотрудничество и коммуникация

- Решение проблемы N_r требует международного сотрудничества. Для реализации многосторонних природоохранных соглашений имеются различные варианты действий; необходимо продолжить изучение вопроса о возможном заключении межконвенционного соглашения по азоту.
- Следует расширить сферу применения инструментов коммуникации для изменения поведения за счет включения в нее азота, например с помощью расчетов "продовольственного следа" азота. В передаваемых сообщениях следует подчеркивать многообразные потенциальные выгоды для здоровья от сокращения потребления животных продуктов во избежание превышения нормативов, рекомендуемых в руководящих принципах питания.

II. Почему азот? Озабоченности и потребность в новых решениях

1. Азот – химический элемент, широко распространенный на Земле, атмосфера которой состоит из него почти на 80%. Однако в форме атмосферного N_2 он не реакционноспособен и не может усваиваться большинством организмов. Напротив, существуют многочисленные формы N_r , имеющие существенно важное значение для жизни, но они в естественном состоянии встречаются в очень малых количествах. К ним относятся аммиак, нитраты, аминокислоты, белки и многие другие его формы. До середины XIX века ограниченность доступных количеств этих соединений N_r в Европе жестко ограничивала производительность как в сельском хозяйстве, так и в промышленности [1.1, 2.1]².

2. В связи с ростом численности населения в конце XIX века размеры биологической азотификации были недостаточными для удовлетворения потребностей в сельхозкультурах, и Европа впадала во все большую зависимость от ограниченных источников N_r в горнодобывающей отрасли (гуано, селитра, уголь). В начале XX века было разработано несколько технологических процес-

² В содержащихся в настоящем резюме ссылках (например, [1.1, 11.1]) указываются номера глав и разделов *Европейской оценки азота*.

сов преобразования азота из формы N_2 в форму N_r , наиболее успешным из которых был процесс Хабера-Боша для производства NH_3 [1.1, 2.1].

3. С 1950-х годов производство N_r значительно возросло, и это, наверное, можно назвать крупнейшим единичным экспериментом в области глобального геоинжиниринга [1.1]. Были удовлетворены потребности Европы в удобрениях, а также потребности военного сектора и промышленности в N_r [3.2, 3.5]. В дополнение к этому применение высокотемпературных процессов сжигания привело к существенному увеличению объемов образования и выбросов NO_x [2.4]. Хотя проблема прошлой нехватки N_r была решена, Европа "накопила" для будущих поколений наследство в виде неожиданных воздействий азота на окружающую среду [1.1].

4. Среди регионов Европа остается крупнейшим источником образования N_r , при этом многие из его воздействий на окружающую среду видны невооруженным глазом и хорошо изучены. Существует множество данных об источниках, превращениях и воздействиях N_r . Однако из-за сложности и масштабов взаимодействий их научное понимание оказалось фрагментарным и сосредоточено на отдельных секторах. Аналогичную фрагментарность можно заметить и в экологической политике в отношении азота, составные компоненты которой, как правило, разделены по признакам компонентов среды (воздух, земля, вода и т.д.), проблематики (климат, биоразнообразие, отходы и т.д.) и формы N_r [4.4, 5.3].

5. Хотя такая специализация углубила понимание, более полная картина в значительной мере осталась вне поля зрения европейской науки и политики, связанной с азотом. Наличие большого числа различных форм N_r и присутствие N_r в большом числе компонентов среды означает, что каждый компонент не должен рассматриваться изолированно. Следовательно, для сведения к минимуму неблагоприятных воздействий N_r в окружающей среде и одновременной оптимизации производства продовольствия и использования энергии требуется более полное понимание круговорота азота [5.3].

III. Роль Европейской оценки азота и применявшийся в ней подход

6. Ключевая задача состоит в обобщении научной информации об азоте и представлений о нем с их объединением в нечто полезное для правительств и общества. Это предполагает стирание границ между различными формами N_r , дисциплинами и заинтересованными субъектами.

7. *Европейская оценка азота* начала выполняться с учетом вышеупомянутых потребностей. Она координировалась в рамках программы "Азот в Европе" ("НитроЕвропа") Европейского научного фонда с опорой на базовые исследования, проводившиеся во всей Европе, но в особенности на комплексный проект "НитроЕвропа", софинансированный Европейской комиссией с помощью вклада "Экшн 729" ЕСНТИ. Эта оценка обеспечивает европейский вклад в Международную инициативу по азоту (МИА) [1.3].

8. На политическом уровне главной аудиторией Оценки являются базирующиеся в Женеве органы Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (КТЗВБР), созданные под эгидой Европейской экономической комиссии (ЕЭК) Организации Объединенных Наций. Органы Конвенции в лице ее Целевой группы по химически активному азоту официально одобрили Оценку как направление деятельности, способствующее их работе [1.3].

9. Помимо поддержки КТЗВБР, Оценка предназначена для обеспечения научной и технической поддержки Европейского союза и его государств-членов, а также других многосторонних природоохранных соглашений, включая Глобальное партнерство по регулированию концентрации питательных веществ, которому содействует Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) [1.5].

10. В знак признания этих потребностей перед участниками *Европейской оценки азота* была поставлена следующая цель: *провести обзор современного научного понимания источников азота, его воздействий и процессов взаимодействия на территории Европы с учетом реализуемой в настоящее время политики и экономических издержек и выгод в качестве информационной основы для разработки будущей политики в местном и глобальном масштабах* [1.4].

11. Процесс выполнения Оценки проходил в рамках серии из пяти открытых научных семинаров-практикумов в период 2007–2009 годов. Проекты глав были представлены на внутреннее и внешнее рецензирование [1.3].

IV. Нарушение круговорота азота в Европе

A. Удобрения, энергетика и транспорт: движущие факторы увеличения поступлений азота

12. Основным источником поступлений N_r для сельского хозяйства и промышленности – технологические процессы, в ходе которых он образуется и которые также являются долго существующим побочным следствием сжигания топлива в секторах энергетики и транспорта. Объем образования N_r в Европе в 2008 году составил около 34 Тг в год (1 Тг соответствует 1 млн. т), из которых 75% пришлось на производство удобрений, а 25% – на химическую промышленность (производство резин, пластмасс, а также использование азота в электронной, металлургической и нефтяной промышленности) [3.5]. Самые значительные изменения в общем объеме поступлений N_r на территорию Европы в прошедшем столетии связаны с тенденцией в области производства минеральных удобрений (диаграмма 1).

13. Сжигание ископаемых топлив сделало возможным существенный рост объемов промышленного производства и перевозок, выразившийся в значительном увеличении объемов выбросов оксидов азота, которые стали частично ограничиваться лишь в последние 20 лет. Напротив, общий вклад биологической азотфиксации культурными растениями значительно сократился.

14. Получение N_r с использованием процесса Хабера-Боша позволило устранить серьезный фактор, ограничивавший развитие общества, и сделало возможными существенный рост численности населения и улучшение благосостояния людей. Однако если учесть природные источники, то объем поступлений N_r антропогенного происхождения в окружающую среду в масштабах мира увеличился более чем в два раза [1.1], а в Европе – более чем в три раза (диаграмма 3) [16, дополнительный материал].

15. По состоянию на 2000 год объем образования N_r в Европе составлял около 19 Тг в год, из которых 11 Тг в год приходилось на производство химических удобрений, 3,4 Тг в год – на источники, связанные со сжиганием топлива, 3,5 Тг в год – на импорт продовольствия и кормов, а 1 Тг в год – на биологическую азотфиксацию (БА) сельскохозяйственными культурами (диаграмма 3).

В. Каскадные превращения азота

16. Антропогенное образование N_f из N_2 вызывает целый каскад желаемых и нежелательных последствий. Желательным является то, что каждая молекула N_f способствует повышению плодородия почвы и увеличению урожая сельскохозяйственных культур, впоследствии используемых в качестве источника элементов питания для животных и людей, что делает возможным образование аминокислот, белков и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). В хорошо управляемой системе операторы ставят перед собой цель обеспечить полную рециркуляцию N_f , содержащегося в навозе и стоках, во всей сельскохозяйственной системе (синие стрелки на диаграмме 2).

17. Однако химически активный азот крайне мобилен, поэтому в результате выбросов в сельском хозяйстве, в процессе сжигания топлива, а также в промышленности происходят непреднамеренные потери N_f , который уходит в окружающую среду (диаграмма 2). После высвобождения N_f мигрирует по различным компонентам среды, переходя из одних форм в другие и способствуя возникновению целого ряда экологических последствий, пока вновь не превратится в N_2 . Важным следствием таких каскадных превращений является то, что воздействия N_f на окружающую среду в конечном счете становятся независимыми от источников, поэтому управление потоками азота требует применение целостного подхода. Это важно как для минимизации нежелательных сдвигов в структуре загрязнения, при которых происходит переход одних форм N_f в другие и меняются создаваемые им угрозы, так и для обеспечения максимальных возможностей достижения синергизма в рамках смягчительно-адаптационных стратегий [2.6, 5.2].

С. Новый баланс азота для Европы

18. Одна из задач при проведении *Европейской оценки азота* заключалась в построении комплексного баланса азота для Европы (ЕС-27³ за 2000 год) с учетом всех важных потоков, наблюдаемых в процессе каскадных превращений азота [16.4]. Параллельно было также произведено сопоставление оценок с данными за 1900 год [16, дополнительный материал]. При объединении всех потоков азота такие балансы позволяют лучше увидеть важнейшие движущие факторы и наиболее эффективные варианты мер борьбы.

19. На диаграмме 3 в самой простой форме показан европейский баланс азота [взято из 16.4]. Из баланса за 2000 год видно, что общее антропогенное нарушение круговорота азота обусловлено прежде всего деятельностью в сельском хозяйстве. Хотя атмосферные выбросы NO_x от движения транспорта и промышленности способствуют возникновению многих видов воздействия на окружающую среду, эти выбросы ничтожно малы по сравнению с сельскохозяйственными потоками N_f .

³ 27 государствами – членами Европейского Союза являются: Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Финляндия, Франция, Чешская Республика, Швеция и Эстония.

20. Важно обратить внимание на размер потока N_r в секторе производства сельхозкультур Европы, который поддерживается главным образом за счет содержащих его удобрений. N_r в производстве сельхозкультур используется как источник элементов питания людей прежде всего лишь косвенно: 80% европейского урожая сельхозкультур, в которых содержится N_r , используется в качестве корма для поддержки поголовья скота (8,7 Тг в год плюс 3,1 Тг в год по импортируемым кормам; общий объем составляет 11,8 Тг в год). Для сравнения следует отметить, что люди потребляют N_r в гораздо меньших количествах, которые составляют в случае сельхозкультур лишь 2 Тг в год, а в случае животных продуктов – 2,3 Тг в год. Следовательно, преобладающим антропогенным фактором, изменяющим круговорот азота в Европе, являются использование людьми поголовья животных на ее территории и обусловленная этим потребность в больших объемах кормов для них [16,4].

21. Эти крупные преднамеренные изменения в потоках N_r вызывают много дополнительных нежелательных потоков N_r (диаграмма 3). В целом с выбросами NH_3 в сельском хозяйстве (3,2 Тг в год) в атмосферу попадает почти такое же количество N_r , что и с выбросами NO_x (3,4 Тг в год). Кроме того, на долю сельского хозяйства приходится 70% выбросов закиси азота (N_2O) в Европе притом, что общий объем ее выбросов составляет 1 Тг в год. В пищевой цепочке также преобладают потери N_r , связанные с его выносом в грунтовые и поверхностные воды, главным образом в форме нитратов (NO_3), при этом общая нагрузка, вызванная прежде всего потерями в сельском хозяйстве (60%) и от сбросов канализационных и водоочистных систем (40%), составляет 9,7 Тг [16.4].

22. Сопоставление данных за 1900 и 2000 годы показывает, насколько возрос каждый из этих потоков, включая потоки азота, вновь обретающего форму N_2 . Денитрификация является самой крупной категорией его потерь, с которой также связаны и наибольшие неопределенности, поскольку это явление происходит на многих различных стадиях в процессе его постоянной миграции из почв в пресноводные объекты и прибрежные моря. Хотя выбросы N_2 экологически безвредны, они представляют собой пример расточительного использования значительного количества энергии, затраченной людьми на производство N_r , и косвенно способствуют изменению климата и загрязнению воздуха. Это не говоря уже о воздействии на изменение климата N_2O , особенно N_2O , образующегося при денитрификации в качестве побочного продукта.

Д. Достижения и ограничения нынешней политики

23. Пик в образовании N_r в Европе наступил в 1980-х годах и был связан с перепроизводством сельскохозяйственной продукции и отсутствием норм регулирования выбросов. С тех пор объем выбросов сократился благодаря введению соответствующей политики и других изменений, затронувших сельское хозяйство (включая Общую сельскохозяйственную политику, Директиву о нитратах и структурную перестройку в Восточной Европе после 1989 года), а также жестких мер по ограничению выбросов, например из крупных установок для сжигания (Директива ЕС о крупных установках для сжигания, Софийский протокол ЕЭК об ограничении выбросов окислов азота или их трансграничных потоков и Гётеборгский протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол) и т. д.), и стандартов ЕВРО для дорожных транспортных средств (диаграмма 4) [4.4].

24. Если брать в целом, то с 1990 года выбросы NO_x в результате сжигания сократились примерно на 30%, но в расчете на единицу выпускаемой продукции было достигнуто их гораздо большее сокращение. Оно было сведено на нет ростом дорожного движения и потребления энергии. Таким образом, чистое сокращение их выбросов является однозначным примером ослабления взаимной зависимости роста и развития, так как при отсутствии каких-либо мер объем выбросов возрос бы более чем на 30%. Успешность технических мер можно в какой-то мере объяснить участием в них небольшого числа субъектов (например, предприятий электроснабжения, производителей транспортных средств), а также тем, что расходы на эти меры можно было легко перенести на потребителей [4.5].

25. Сельскохозяйственные меры привели лишь к незначительному сокращению объема поступлений N_r в сельское хозяйство 27 стран ЕС, размер которого составил около 15% (диаграмма 1). Это незначительное общее сокращение нашло отражение в тенденциях изменения выбросов NH_3 (диаграмма 4). Сокращения, достигнутые к настоящему времени, можно объяснить большей частью уменьшением масштабов использования удобрений и сокращением поголовья скота, особенно в Восточной Европе после 1989 года. Хотя сокращению выбросов будут способствовать и улучшения в практике управления (например, выщелачивание нитратов и потери в результате выноса в морские зоны), пока количественных достижений при принятии мер по сокращению выбросов N_2O и NH_3 в сельском хозяйстве в европейском масштабе отмечается немного. То, что в ходе реализации нынешней политики сокращения выбросов N_r в сельском хозяйстве (например, Директива ЕС о нитратах, Комиссия ОСПАР по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики, Гётеборгский протокол ЕЭК и Директива ЕС о национальных предельных значениях выбросов) был достигнут лишь ограниченный прогресс, может быть в какой-то мере связано с многочисленностью и разнообразием участвующих субъектов (включая многие мелкие сельхозпредприятия), разбросанностью источников выбросов N_r , а также с проблематичностью переноса любых предполагаемых расходов на потребителей [4.5]. Следовательно, сельское хозяйство является сектором, в котором по-прежнему имеются наиболее широкие возможности для сокращения выбросов.

26. При применении ограничительных мер в отношении N_r было отмечено несколько примеров нежелательного сдвига в структуре загрязнения. В частности, после введения требования об установке трехкомпонентных катализаторов на транспортных средствах увеличились объемы выбросов NH_3 и N_2O (хотя общий объем выбросов N_r все-таки значительно сократился), а вследствие применения Директивы о нитратах, установившей запрет на разбрасывание навоза в зимнее время, был достигнут новый пиковый уровень выбросов NH_3 в весеннее время [9.2].

V. Выгоды от применения азота в сельском хозяйстве и его эффективность

A. Азотные удобрения как источник элементов питания в Европе

27. Антропогенное образование N_r , несомненно, в значительной мере способствовало увеличению продуктивности сельскохозяйственных земель. Без антропогенного N_r с 1 га хороших сельскохозяйственных земель в Европе, при отсутствии каких-либо иных ограничений роста, можно ежегодно получать около 2 т зерновых. При типичном дополнительном вкладе БА может быть по-

лучено примерно 4–6 т с гектара, а при добавлении химических удобрений – около 8–10 т с гектара. Согласно оценкам, благодаря содержащим N_r синтетическим удобрениям обеспечивается прокорм почти 50% населения мира, и ЕС крайне важно иметь значительную степень самодостаточности в производстве зерновых. В производстве свинины, мяса птицы и яиц Европа сильно зависит от импорта соевых бобов из Америки [3.1].

28. Для измерения агрономической эффективности предусмотрен показатель выгоды применения N_r для сельхозпроизводителя (килограммы (кг) производимых сельхозкультур на 1 кг внесенного азота (N)). В обычной практике нормы внесения удобрений в восточных государствах – членах ЕС могут быть даже в четыре раза меньше соответствующих норм в 15 "прежних" государствах-членах, но агрономическая эффективность в них сопоставима (диаграмма 5). Использование N_r выгодно, так как обеспечивает стабильную финансовую норму прибыли в размере 2–5 евро на каждый евро, вложенный в приобретение содержащих N_r удобрений, – в зависимости от рыночной цены на зерновые и удобрения [3.6].

В. Значительные различия в производстве зерна и мяса в качестве источника потерь N_r , уходящего в окружающую среду

29. Измерить в производстве сельхозкультур потери N, уходящего в окружающую среду, позволяет показатель усвоения азота (кг N, усвоенного сельскохозяйственной культурой в расчете на 1 кг внесенного N). В Европе в случае зерновых он колеблется в пределах 30–60%, т.е. 40–70% внесенного с удобрением N_r теряются и уходят в атмосферу или гидросферу [3.2].

30. В животноводстве показатель усвоения азота объективно ниже, чем в производстве сельхозкультур: в пересчете на живой вес и вес съедобных частей количество поступающего с кормами N_r , которое остается в организме, составляет соответственно лишь 10–50% и 5–40% (диаграмма 6). Если учесть дополнительные потери N_r в производстве кормов, то общая эффективность использования N_r для производства мяса составит примерно половину от этих величин. По этой причине во всей цепочке производства животных белков из-за его выноса в окружающую среду образуется гораздо больше потерь, чем в производстве растительных белков.

31. Источником примерно одной трети (в 2000 году – 7,1 Тг в год) всего количества N_r , вносимого в почву на сельхозпредприятиях, является навоз животных. Это соответствует примерно двум третям количества N_r , поступающего с кормами для животных, в то время как доля N_r навоза животных, теряемого в результате его выноса в окружающую среду, как правило, в два раза превышает долю N_r в минеральных удобрениях, что однозначно указывает на важность применения надлежащих мер по обеспечению максимальной эффективности повторного использования навоза [3.2].

С. Колебание эффективности использования азота как индикатор возможностей для нахождения решений

32. Начиная с 2000 года показатель общей эффективности сельского хозяйства в Европе (отношение N в произведенном продовольствии к суммарному объему использованных синтетических азотных удобрений – с учетом импорта продовольствия и кормов) составляет около 30% [взято из раздела 16.4, см. диа-

грамму 3]. Широкий разброс в нормах внесения N и эффективности его использования в Европе указывает на наличие огромных возможностей для повышения ресурсоэффективности и уменьшения воздействий на окружающую среду (диаграмма 5).

33. В ЕС потребление белков превышает рекомендуемый норматив на 70% [26.3], при этом доля животных белков в их общем количестве увеличивается. Даже незначительные изменения в рационе питания людей с уменьшением потребления животных белков (или с их замещением белками животных, выращиваемых с большей эффективностью), оказало бы значительное влияние на круговорот азота в Европе.

VI. Основные угрозы для общества, связанные с избытком азота

34. Из длинного перечня вызывающих озабоченность проблем, в который включено 20 таких проблем, авторы Оценки выделяют пять основных угроз для общества, связанных с избытком N_r в окружающей среде: для качества воды, качества воздуха, баланса парниковых газов, экосистем и биоразнообразия, а также качества почвы. В совокупности эти угрозы можно легко запомнить в виде акронима ВВПЭП как характеристику избыточного содержания азота и легко представить себе мысленно в форме зрительного образа, используя аналогию с четырьмя "элементами" (вода, воздух, огонь, земля) и сущностными категориями классической греческой космологии (диаграмма 7). Эти пять угроз образуют своего рода рамочную конструкцию, которая включает в себе почти все проблемы из длинного перечня озабоченностей, связанных с избытком N_r [5.4].

A. Азот как угроза качеству воды в Европе

35. Загрязнение воды N_r вызывает эвтрофикацию и подкисление пресноводных объектов [7.4, 8.8]. Кроме того, эвтрофикация, обусловленная поступлением N_r в прибрежную зону в количествах, в четыре раза превышающих естественный фон, оказывает влияние на состояние эстуариев, примыкающих к ним береговых полос и (близлежащих) внутренних морей [13.7]. Примерами последствий этого являются утрата биоразнообразия, цветение токсичных водорослей и образование мертвых зон (зоны замора рыбы) [8.8]. В большей части Европы в пресных водах значительно превышен пороговый уровень содержания нитратов – 1,5–2 миллиграмма (мг) N_r на литр, при превышении которого водные объекты могут пострадать от сокращения биоразнообразия [7.5, 17.3].

36. Высокие концентрации нитратов в питьевой воде считаются опасными для здоровья человека, так как они могут вызвать заболевание раком и (хотя и редко) младенческой метгемоглобинемией. Около 3% населения 15 государств ЕС⁴ могут иметь дело с уровнями, превышающими нормативы для питьевой воды в размере 50 мг NO_3 на литр (11,2 мг N_r на литр), а 6% – с уровнями, превышающими 25 мг NO_3 на литр [17.3]. Это может вызвать рост заболеваемости раком толстой кишки на 3%, однако нитраты также считаются полезными веществами для сердечнососудистой системы [22.3].

⁴ К ЕС-15 относятся Австрия, Бельгия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Соединенное Королевство, Финляндия, Франция и Швеция.

37. Хотя с 1980-х годов эвтрофикация вод в какой-то мере уменьшилась, согласованная международная политика в полной мере не реализуется. В дополнение к этому увеличение содержания нитратов в подземных водах угрожает долгосрочному качеству этого ресурса в виду длительности их пребывания в водоносных горизонтах [7.5, 17.2]. Для достижения существенного прогресса в масштабах Европы требуется интегрировать секторальную политику, уменьшив общий объем поступлений N_r в водосборы [4.5, 13.7, 17.5].

В. Азот как угроза качеству воздуха в Европе

38. Загрязнение воздуха NO_x и NH_3 вызывает образование вторичных дисперсных частиц (ДЧ), а выбросы NO_x также повышают уровни концентрации NO_2 и тропосферного озона (O_3). Все это является причиной возникновения у людей респираторных проблем, а также раковых заболеваний, тогда как озон причиняет вред сельскохозяйственным культурам и другой растительности, равно как зданиям и другим объектам культурного наследия [18.2, 18.5].

39. Согласно модельным оценкам, действие ДЧ ежегодно вызывает в Европе 300 000–400 000 преждевременных смертей, вследствие чего в большей части Центральной Европы ожидаемая продолжительность жизни меньше, чем в остальной части, на 6–12 месяцев. Массовая доля N_r в составе дисперсного вещества составляет до 30–70% [18.3, 18.5]. Однако индивидуальный вклад аэрозолей, содержащих NO_x и N_r , в воздействие загрязнения воздуха на здоровье человека остается неопределенным [18.2].

40. Хотя сокращение выбросов NO_x привело к снижению пиковых концентраций O_3 , фоновые концентрации тропосферного O_3 продолжают увеличиваться. На фоне ограниченного прогресса в сокращении выбросов NO_x успех в деле ограничения сельскохозяйственных выбросов NH_3 является даже еще менее значительным, что, соответственно, способствует увеличению относительной нагрузки загрязнения воздуха в Европе [4.5, 18.6].

С. Азот как угроза балансу парниковых газов в Европе

41. Выбросы химически активного азота оказывают на климат как тепляющее, так и охлаждающее воздействие. К основным компонентам, оказывающим тепляющее воздействие, относится увеличение концентрации N_2O и тропосферного O_3 , оба из которых входят в число парниковых газов. Основными процессами, оказывающими охлаждающее воздействие, являются выпадение атмосферного N_r , из-за которого сейчас увеличивается объем поглощения лесами из атмосферы диоксида углерода (CO_2), а также процесс образования аэрозоля, содержащего N_r , который рассеивает свет и способствует формированию облаков [19].

42. В целом, согласно оценкам, выбросы N_r в Европе оказывают на климат чистое охлаждающее воздействие с интенсивностью -16 мегаватт (МВт) на квадратный метр (m^2), при этом границы интервала неопределенности соответствуют, с одной стороны, существенному охлаждению, а с другой – незначительному чистому потеплению (от -47 до +15 МВт на m^2). Наибольшие неопределенности связаны с воздействиями аэрозоля и N_r , содержащегося в удобрениях, а также с оценкой вклада Европы в глобальном контексте [19.6]. Выполненная Межправительственной группой экспертов по изменению климата

(МГЭИК) оценка косвенных выбросов N_2O в результате выпадения N_r рассматривается как заниженная не менее чем в два раза [6.6, 19.6].

43. Существует много возможностей для применения практики "умного управления" с увеличением чистого охлаждающего воздействия N_r посредством уменьшения тепляющих воздействий одновременно с другими угрозами, например путем привязки циклов азота и углерода к мерам по уменьшению выбросов парниковых газов за счет повышения эффективности использования азота [19.6].

D. Азот как угроза наземным экосистемам и биоразнообразию в Европе

44. Выпадение атмосферного N_r побуждает растения, предпочитающие условия с большим притоком N_r или более кислые условия, к вытеснению многочисленных чувствительных видов, из-за чего оказывается под угрозой биоразнообразие на всей территории Европы. Наиболее уязвимыми являются местообитания с видами, адаптированными к низким уровням содержания биогенных элементов или плохо защищенными от подкисления. Помимо эвтрофикации, атмосферный N_r вызывает прямое повреждение листьев, подкисление и повышенную чувствительность к патогенам [20.3].

45. В отношении относительных воздействий атмосферных нитратов (NO_3^-) в сравнении с аммонием (NH_4^+) определенности нет, а вот газообразный аммиак (NH_3) может быть крайне вредным для растительности и вызывать повреждение листьев, особенно у более низкорослых растений [20.3]. Это заставляет обратить особое внимание на угрозу, существующую для полуестественных местообитаний в сельскохозяйственных ландшафтах [9.6, 11.5]. Хотя об этом нельзя говорить с определенностью, предполагается, что выпадение N_r оказывает синергическое действие вместе с изменением климата и приземным озоном [20.2].

46. Пороговые значения атмосферных концентраций и выпадения содержащих N_r соединений на полуестественные местообитания превышены на значительной части территории Европы, и при нынешних прогнозах выбросов N_r они будут превышать и в будущем. Чтобы обеспечить восстановление экосистем, необходимо добиться дальнейших сокращений выбросов NH_3 и NO_x [20.5]. Предполагается, что ввиду кумулятивного воздействия поступлений N_r и длительности временных лагов темпы восстановления экосистем будут медленными, и в некоторых случаях для его обеспечения могут потребоваться активные управленческие меры воздействия на территории затронутых местообитаний [20.5].

E. Азот как угроза качеству почв в Европе

47. На почве концентрируются многие другие воздействия N_r , что однозначно указывает на их взаимосвязанный характер. К основным угрозам для качества почвы со стороны N_r относятся подкисление почвы, изменение содержания органического вещества в почве и утрата почвенного биоразнообразия. Подкисление почвы может происходить из-за выпадения окисленного и восстановленного N_r в результате выбросов NO_x и NH_3 , которое уменьшает скорость роста лесов и ведет к выщелачиванию тяжелых металлов [21.3]. При высоких уровнях выпадений N_r на естественные торфяники существует риск потери накопленных углерода в результате взаимодействий, сопряженных с изменением видового

состава растений, хотя это воздействие плохо поддается количественной оценке [6.6, 19.4].

48. Добавление N_r , как правило, оказывает благотворное влияние на состояние сельскохозяйственных почв, усиливая их плодородие и увеличивая содержание органического вещества в них [6.4, 21.3]. Однако когда из-за обилия азота уменьшается количество некоторых почвенных грибов и азотфиксирующих бактерий, увеличиваются потери N_r . Взаимодействия между N_r и почвенным биоразнообразием, плодородием почв и выбросами N_r хорошо не поняты [21.3].

49. Согласно прогнозам, не позднее чем через несколько десятилетий кислотность почв в лесах Европы уменьшится главным образом в результате сокращения выбросов SO_2 и NO_x . Выбросы аммиака сократились лишь незначительно, и в воздействиях, вызывающих подкисление почв на значительной части территории Европы, все более доминирующую роль играют NH_x (аммиак плюс аммоний) [20.3, 21.4].

VII. Экономические аспекты присутствия азота в окружающей среде

A. Оценка потери благосостояния вследствие выбросов азота в Европе

50. Выполнена оценка общественных издержек от неблагоприятных воздействий N_r в окружающей среде Европы. При их выражении в евро на кг выбросов N_r наибольшие величины оказались связанными с воздействиями загрязнения воздуха NO_x на здоровье человека (10–30 евро на кг), за которыми следуют воздействия потерь вымываемого N_r на водные экосистемы (5–20 евро на кг) и воздействия NH_3 на здоровье человека через дисперсные частицы (2–20 евро на кг). Наименьшие величины получены при оценке воздействий на здоровье человека присутствующих в питьевой воде нитратов (0–4 евро на кг) и воздействия на него N_2O в результате истощения стратосферного озонового слоя (1–3 евро на кг) [22.6].

51. Если совместить эти издержки с общим объемом выбросов по каждой из основных форм N_r , то получится первая оценка ежегодного ущерба от N_r в 27 государствах ЕС (диаграмма 8). Общие издержки оцениваются в 70–320 млрд. евро в год, из которых 75% связано с последствиями загрязнения воздуха, а 60% – со здоровьем человека. Общая стоимость ущерба в расчете на одного человека равна 150–750 евро, или 1–4% среднеевропейского дохода [22.6], и примерно в два раза превышает нынешний порог "готовности платить" за обеспечение контроля над процессом глобального потепления посредством торговли квотами на выбросы углерода [22.6].

52. Ущерб окружающей среде от воздействий N_r , используемого в сельском хозяйстве 27 государств ЕС, был оценен равным 20–150 млрд. евро в год. Эти числа сопоставимы с ежегодной выгодой в 10–100 млрд. евро, получаемой сельхозпроизводителями от использования азотных удобрений, при том что в отношении долгосрочной полезности азота для урожайности сельскохозяйственных культур существует значительная неопределенность [22.6].

53. Помимо неопределенностей, объективно присущих стоимостным оценкам, касающимся окружающей среды, в том числе проводимым с использованием подходов, строящихся на принципе "готовности платить" за экосистемные услуги, основные из относящихся к этим оценкам неопределенностей касаются относительной доли N_r в воздействиях дисперсного вещества на здоровье людей, а также относительной доли N_r в эвтрофицирующих воздействиях на пресноводные объекты [22.6].

В. Будущие меры по смягчению воздействия азота в Европе и соответствующие сценарии

54. Учет экологических издержек в себестоимости продукции азотоемкого сельского хозяйства в северо-западной части Европы позволяет определить экономически оптимальные годовые нормы внесения N_r , которые примерно на 50 кг/га (30%) меньше уровня экономического оптимума для сельхозпроизводителей частного сектора. Это четко указывает на важность повышения эффективности использования азота и учета внешних воздействий на окружающую среду при выработке рекомендаций по азоту для сельхозпроизводителей [22.6].

55. Полученные результаты также однозначно свидетельствуют о незначительности общих издержек, вызванных выбросами N_2O , по сравнению с издержками, обусловленными выбросами NO_x и NH_3 , а также потерями N_r , уходящего в воду (диаграмма 8). Хотя удельные издержки по N_2O , составляющие 6–18 евро на 1 кг выбросов N_r , схожи с удельными издержками, связанным с другими проблемами, объем выбросов N_2O намного меньше (пункт 21), поэтому общая стоимость ущерба, наносимого другими формами N_r , гораздо меньше стоимости ущерба, наносимого другими формами N_r . Это указывает на то, что если взять за основу подход, основанный на принципе "готовности платить", и опираться на текущие величины, то наивысший приоритет политики должен заключаться в установлении более жесткого контроля за атмосферными выбросами NO_x и NH_3 в Европе и потерями N_r , уходящего в воду, по сравнению с мерами контроля за выбросами N_2O . Важно нацеливаться на такие меры, которые позволяют достичь максимального синергизма за счет одновременного сокращения выбросов всех форм N_r и уменьшения оказываемых ими воздействий. Однако для тех случаев, когда те или иные меры сопряжены с ограниченным смещением в структуре загрязнения, вызываемого N_r ("замещение загрязнителей"), на диаграмме 8 показано, что даже при пропорциональном росте объема выбросов N_2O в процентном выражении экономически оправданным было бы дальнейшее ограничение выбросов NO_x и NH_3 и потерь вымываемых N_r .

56. При использовании Модели взаимодействия и кумулятивного воздействия парниковых газов и загрязняющих воздух веществ (модель GAINS) в Международном институте прикладного системного анализа (МИПСА) были получены оценки стоимости технических мер по сокращению выбросов NO_x , NH_3 и N_2O . В будущих сценариях на период до 2030 года на основе этих оценок сопоставляются текущие планы сокращения с максимально возможным сокращением и подход, основанный на оптимизации расходов. Это сопоставление указывает на наличие существенных возможностей для дальнейшего сокращения выбросов NO_x и NH_3 , что подтверждает обоснованность пересмотра Гётеборгского протокола [24.6]. Хотя здесь они не оцениваются, имеются предварительные указания на то, что расходы на меры по борьбе с выбросами NH_3 (евро на

кг N_r) являются менее значительными по сравнению с прежними оценками, и в настоящее время проводится их проверка⁵.

57. В будущих долгосрочных сценариях подчеркивается возможность значительного сокращения выбросов NO_x (за период 2000–2100 годов – на 75% или более) за счет совершенствования технологий в сочетании с прогнозируемым уменьшением объема использования энергии при некоторых сценариях (диаграмма 9). Напротив, прогнозируемые тенденции по NH₃ и N₂O гораздо менее ясны. Сценарий с высоким уровнем CO₂, соответствующий не ограничиваемому развитию (+8,5 Вт/м² радиационного форсинга) показывает рост выбросов NH₃, который не произойдет при более оптимистичных сценариях изменения климата (+2,6 и +4,5 Вт/м² радиационного форсинга). Но даже из этих сценариев четко видна долгосрочная перспектива с быстрым превращением NH₃ в преобладающую форму выбросов N_r в атмосферу и в основной вызов для политики ограничения выбросов [24.6].

58. В долгосрочном прогнозе для сценариев использования N_r и выбросов N_r необходимо также учитывать возможные масштабы будущего производства энергии из возобновляемых источников. Существуют возможности для достижения существенной синергии за счет увеличения площади лесного покрова, при котором поступления N_r будут иметь главным образом форму атмосферных выпадений, что позволит увеличить вымывание загрязнителей воздуха и создаст возможности для содействия связыванию углерода [9.4, 19.4]. Напротив, расширение использования содержащих N_r удобрений для поддержки интенсивного производства биоэнергетических и биотопливных культур может быть сопряжено с образованием значительных нежелательных сдвигов в структуре загрязнения и может потребовать уравнивания дополнительных потерь N₂O, других N_r и N₂ за счет положительных результатов борьбы с выбросами углерода (пункт 22) [2.4, 24.5].

VIII. Возможности применения комплексных подходов к управлению потоками азота

A. Целостный взгляд на управление каскадными превращениями азота

59. С учетом всей совокупности неблагоприятных экологических воздействий, имеющих место при каскадных превращениях N_r, наиболее привлекательными вариантами смягчительных мер представляются варианты, дающие возможность одновременного сокращения выбросов всех азотных загрязнителей во всех секторах, где они допускаются, а также во всех компонентах окружающей среды.

60. Достичь перспективы снижения рисков непоследовательности, неэффективности и нежелательного изменения структуры загрязнения позволяет комплексный подход к управлению потоками N_r. В усилиях по обеспечению комплексности следует учитывать неодинаковость уровня успешности различных вариантов политики в отношении N_r (пункты 23–26), с тем чтобы обеспечить межсекторальную сбалансированность мер по смягчению его воздействий. Комплексность требует большей междисциплинарности и более активного по-

⁵ См. "Варианты пересмотра Гётеборгского протокола 1999 года о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном" (ECE/EB.AIR/WG.5/2010/13).

иска консенсуса между учеными, политиками и заинтересованными сторонами [4.6, 23.4].

61. Комплексная политика оправдана и внутри секторов, например в сельском хозяйстве, ввиду многочисленности участвующих субъектов и наличия связи между источниками, секторами и воздействиями [23.4]. В принципе мощным стимулом для повышения устойчивости сельскохозяйственного производства может служить Общая сельскохозяйственная политика ЕС.

В. Семь ключевых направлений действий по улучшению управления каскадными превращениями азота

62. Основой для дальнейшего совершенствования комплексных подходов к управлению потоками N служат семь ключевых направлений действий в четырех секторах [23.5].

Сельское хозяйство

1. *Повышение эффективности использования азота в производстве сельскохозяйственных культур.* Это предусматривает улучшение агротехнической практики, генетического потенциала и урожаев на единицу вносимого N_r с возможностью сокращения потерь на единицу продукции при минимизации за счет этого риска нежелательного изменения структуры загрязнения [3.3, 22.6, 23.5].

2. *Повышение эффективности использования азота в животноводстве.* Как и в случае сельскохозяйственных культур, это предусматривает учет таких аспектов, как агротехническая практика и генетический потенциал, а также упор на повышение эффективности усвоения кормов и снижение эксплуатационных затрат с целью сокращения потерь на единицу продукции и уменьшения степени нежелательного изменения структуры загрязнения [3.4, 10.3, 23.5].

3. *Повышение коэффициента эквивалентности азотных удобрений навозу животных.* Повышение коэффициента эквивалентности удобрений требует сохранения N_r в навозе в период его хранения и внесения в почву (особенно для сокращения выбросов NH_3 в тех случаях, когда теряется большое количество N_r) при одновременной оптимизации нормы и времени их внесения с учетом потребностей сельскохозяйственных культур [3.4, 10.3, 23.5].

Транспорт и промышленность

4. *Малоэмиссионное сжигание и энергоэффективные системы.* Это предусматривает совершенствование технологий как для стационарных источников из числа сжигательных установок, так и для транспортных средств с повышением энергоэффективности и использованием альтернативных источников энергии при более низком уровне выбросов с опорой на ныне применяемые подходы [4.5, 23.5, 24.6].

Очистка сточных вод

5. *Рециркуляция азота (и фосфора) из водоочистных систем.* В настоящее время в Европе в усилиях по очистке сточных вод от N_r основное внимание уделяется денитрификации азота с его превращением в N_2 . Хо-

тя применяемая политика является относительно успешной [4.6], при таком подходе нерационально используется энергия, затраченная на производство N_r (пункт 22). Далеко идущей долгосрочной целью должна быть рециркуляция N_r из сточных вод с использованием новых технологий обращения с канализационными стоками [12.3, 23.5].

Модели потребления в обществе

6. *Энергосбережение и транспортная экология.* На фоне успешности технических мер по сокращению выбросов NO_x на единицу потребления за последние десятилетия увеличились как пробег транспортных средств, так и объемы использования энергии. Значительно способствовать сокращению выбросов NO_x могло бы дестимулирование неэкологичных автомобилей и поездок в отпуски на большие расстояния, а также стимулирование энергосберегающих жилищ и моделей потребления [23.5].

7. *Уменьшение потребления людьми животных белков.* В Европе показатель потребления животных белков во многих ее частях превышает рекомендуемый уровень душевого потребления. Снижение доли животных продуктов в рационе питания до рекомендуемого уровня (и сдвиг потребления в сторону животных продуктов, получаемых при более высоком уровне эффективности использования азота) снизит выбросы N_r и одновременно принесет пользу здоровью людей в тех случаях, когда нынешний уровень потребления превышает оптимальный [23.5, 24.5, 26.3].

63. Ключевое направление действий 4 предполагает реализацию технических мер, которые уже принимаются в сочетании с мерами стимулирования населения к энергосбережению и использованию более экологичных транспортных средств (ключевое направление действий 6), с взаимоувязыванием политики в отношении N_r , политики борьбы с загрязнением воздуха и политики в области изменения климата (см. диаграмму 9). Кроме того, каждое из ключевых направлений действий в рамках пищевой цепочки (1–3, 7) полезно еще и с точки зрения смягчения изменения климата, а также с точки зрения регулирования потоков других биогенных элементов, включая фосфор. Поскольку достигнутый к настоящему времени успех в деле сокращения сельскохозяйственных выбросов N_r является ограниченным, необходимо предпринимать больше усилий по увязыванию основных направлений действий как с целью наработки знаний на основе успешных примеров, так и для обеспечения справедливого распределения нагрузки между секторами.

IX. Вызовы для общества и политики

A. Место азота в многосторонних природоохранных соглашениях и будущих исследованиях

64. Большой вклад в дело охраны глобальной окружающей среды внесли международные договоры, в частности многосторонние природоохранные соглашения, которые способствовали осуществлению межправительственных действий по многим аспектам экологической проблематики, но ни один из этих договоров не был нацелен на обеспечение целостного охвата политики регулирования потоков азота [4.3, 25.2].

65. Мощным механизмом для сведения воедино различных элементов проблемы азота мог бы быть новый международный договор, прямо ориентированный на азот. Ввиду сложности согласования новой конвенции, которая могла бы вступить в конкуренцию с существующими структурами, эффективным инструментом мог бы оказаться протокол к существующим конвенциям, идею разработки которого следовало бы изучить [25.3, 25.4].

66. Следует продолжать развивать новые координирующие связи по вопросам регулирования потоков азота между органами многосторонних природоохранных соглашений, охватив при этом Глобальное партнерство по регулированию концентраций питательных веществ, действующее при содействии ЮНЕП, Целевую группу по химически активному азоту Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, равно как и связи с другими конвенциями ЕЭК. Возможность для развития связей по вопросам регулирования потоков азота между органами конвенций ЕЭК имеется у Комитета ЕЭК ООН по экологической политике, а ЕС и его государства-члены могли бы играть важную роль в работе по гармонизации и координации [25.4].

67. Такие координационные действия будут требовать постоянной поддержки со стороны научных кругов, особенно в условиях сохранения многочисленных неопределенностей, с которыми объективно сопряжено формирование долгосрочного видения в рамках любого целостного подхода. В программах исследований нужно уделять более приоритетное внимание количественной оценке связей по проблематике азота, существующих между традиционными дисциплинарными сферами, компонентами среды и экологическими проблемами, обеспечивая предоставление таких данных и разработку таких моделей, которые можно было бы положить в основу будущих переговоров и политики.

В. Общественный выбор, осведомленность общественности и изменение моделей поведения

68. Европейскому обществу предстоит сделать важный выбор для решения проблем продовольственной и энергетической безопасности и устранения экологических угроз, в том числе связанных с изменением климата, состоянием качества воды, почвы и воздуха и утратой биоразнообразия. Эти проблемы неразрывно связаны с круговоротом азота и плотно вплетены в глобальный контекст, и решения относительно образа жизни и рациона питания, которые примут жители Европы, будут иметь важное значение [26.3].

69. В Европе имеются различные сценарии и модели, предусматривающие значительное сокращение выбросов NO_x , которые должны уменьшиться на 75%, в то время как будущие перспективы в отношении выбросов NH_3 и N_2O являются неопределенными (диаграмма 9) [24.6]. Что касается выбросов N_r в сельском хозяйстве, то их сокращение до настоящего времени ограничивалось такими лимитирующими факторами, как многочисленность заинтересованных субъектов, незамкнутость системы хозяйствования с характерными для нее диффузными потерями, желание сохранить высокие объемы производства в интересах европейской агроэкономики и в целях обеспечения продовольственной безопасности и, наверно, озабоченность тем, каким образом перенести прогнозируемые издержки на потребителей (пункт 25). Следовательно, для внесения изменений в сельскохозяйственную практику с целью обеспечения существенного сокращения выбросов N_r в Европе в предстоящие десятилетия требуются осведомленность и широкая поддержка со стороны политиков, промыш-

ленности, сельхозпроизводителей, розничных торговцев и потребителей [23.3, 26.3].

70. Сопоставление выбросов N_r в результате сжигания топлива и сельскохозяйственных выбросов N_r высвечивает необходимость вовлечения в работу общественности. При этом необходимо сделать акцент на взаимную ответственность всех участников цепочки продовольственного снабжения, подкрепить базу для обоснования переноса любых издержек, связанных со смягчительными мерами, на потребителя, а также привлечь внимание к тому, что ввиду существенного размера издержек, обусловленных экологическими воздействиями, принятие соответствующих мер является полностью оправданным шагом [4.5, 23.5, 26.3].

71. В настоящее время общественность и институциональные субъекты очень плохо осведомлены о глобальной проблеме азота. Если сравнить ее с проблемами углерода и изменения климата, то можно увидеть, насколько она многогранна и как глубоко пронизана ею вся тематика глобальных изменений. Ее сложность мешает росту общественной осведомленности и указывает на необходимость распространения легкодоступных идей, которые привлекли бы к ней общественность [5.4, 26.4].

72. Простым способом объяснения важности проблемы азота могло бы быть контрастное сравнение огромных выгод, которые он обеспечивает обществу, с создаваемыми им экологическими угрозами с акцентированием внимания на необходимости расширения существующих "футпринтинговых" подходов, например на необходимости расчета "продовольственного следа" азота. Наверное, самый сильный сигнал общественности могла бы дать мысль о том, что соблюдение рекомендуемых ограничений в рационе питания при потреблении животных продуктов может принести существенную пользу для здоровья. Это открыло бы возможности для улучшения здоровья каждого отдельного человека и одновременно позволило бы защитить окружающую среду [23.5, 24.5, 26.3].

Диаграмма 1
Расчетный тренд антропогенных поступлений химически активного азота в окружающую среду на территории Европейского союза (ЕС-27)
 [5.1] (1 Тг соответствует 1 млн. т).

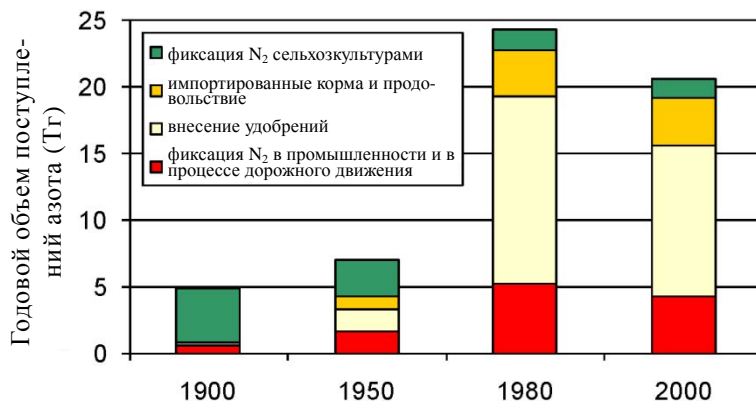


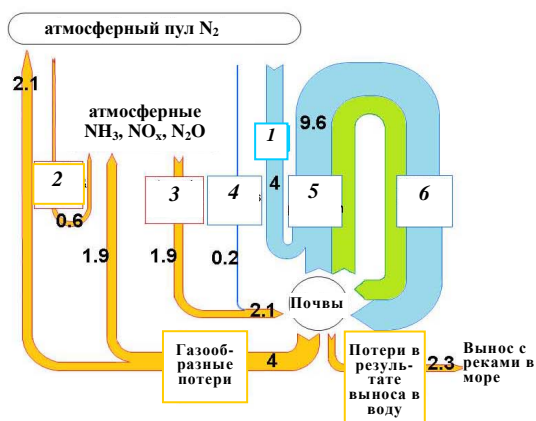
Диаграмма 2
Упрощенное изображение каскадных превращений азота с отражением процесса улавливания атмосферного N₂ с целью его преобразования в N_r с использованием процесса Хабера-Боша – крупнейшего источника образования N_r в Европе. Схематически показаны основные формы N_r как загрязнителя (оранжевые рамки) и пять экологических проблем (синие рамки). Синими стрелками показаны антропогенные потоки N_r, являющиеся результатом целенаправленной деятельности, а всеми остальными стрелками – стихийные потоки [1.2]. Более полное описание, включающее другие источники N_r, см. в [5.2].



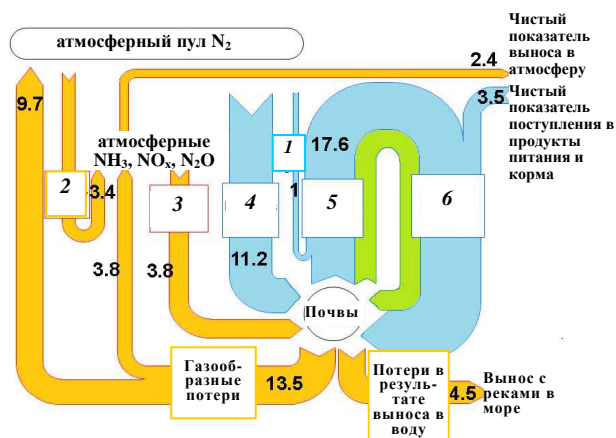
Диаграмма 3

Упрощенное сопоставление круговорота азота в Европе (ЕС-27) в 1900 и 2000 годах. Синими стрелками показаны антропогенные потоки азота, образовавшиеся в результате целенаправленной деятельности, оранжевыми – стихийные потоки азота, зелеными – практически замкнутый цикл оборота азота в природных системах суши [16.4 и 16, дополнительный материал].

Европа (ЕС27), приблизительно 1900 год.
Потоки N в TgN/год



Европа (ЕС27), приблизительно 2000 год.
Потоки N в TgN/год



- 1 - фиксация N₂ сельхозкультурами
- 2 - фиксация N₂ в промышленности и в процессе дорожного движения
- 3 - атмосферные выпадения
- 4 - удобрения
- 5 - производство сельхозкультур
- 6 - питание животных и людей

Диаграмма 4

Расчетные тренды выбросов химически активного азота в Европе в период 1900–2000 годов (ЕС-27) [5.1].

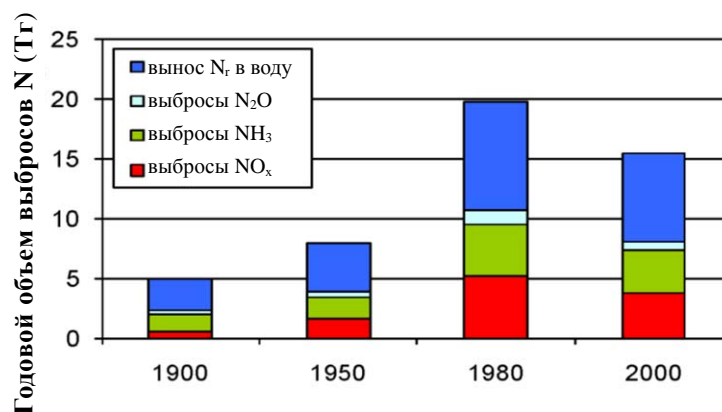
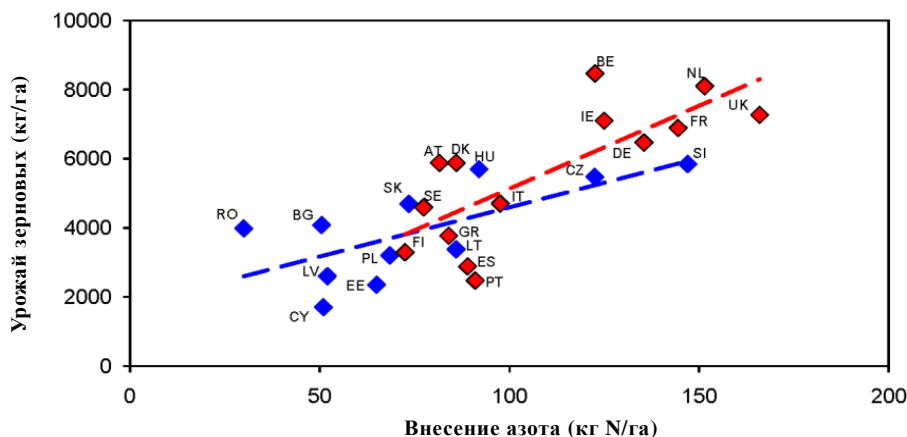


Диаграмма 5

Вариации в использовании азотных удобрений при выращивании озимой пшеницы на территории Европейского союза (красный цвет – ЕС-15, синий цвет – ЕС-12) приблизительно в 2000 году. Вариации указывают на наличие существенных возможностей для повышения показателей работы и уменьшения воздействий на окружающую среду [3.2].



Примечание: AT = Австрия, BE = Бельгия, BG = Болгария, CY = Кипр, CZ = Чешская Республика, DE = Германия, DK = Дания, E = Эстония, ES = Испания, FI = Финляндия, FR = Франция, GR = Греция, HU = Венгрия, IE = Ирландия, IT = Италия, LT = Литва, LV = Латвия, NL = Нидерланды, PL = Польша, PT = Португалия, RO = Румыния, SE = Швеция, SI = Словения, SK = Словакия и UK = Соединенное Королевство.

Диаграмма 6

Диапазон эффективности усвоения N_r при выращивании животных в сельском хозяйстве Европы (кг N в весе съедобных частей на кг N в корме для животных) [3.4, 10.4, 26.3]; см. также дополнительный материал к главе 3. Более высокий показатель эффективности усвоения указывает на менее значительный "азотный след". Если учесть всю цепочку начиная с внесения удобрений и кончая поступлением N_r в съедобные части продуктов, то общая эффективность использования азота при выращивании животных в ЕС-27 составит около 15–17% [3, 10, дополнительный материал]. Хотя при применении интенсивных систем ведения хозяйства показатель усвоения N_r обычно бывает выше, в них также обычно отмечают более значительные потери N_r в расчете на 1 га, если не предпринимаются усилия по сокращению выбросов [10.4].

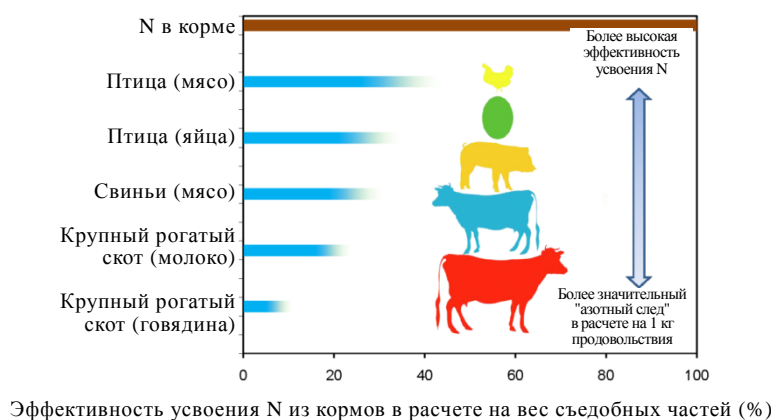


Диаграмма 7

Пять основных угроз для общества от избытка химически активного азота, представленных по аналогии с "элементами" классической греческой космологии. Показаны основные химические формы, связанные с каждой угрозой [5.4]. *Источники фотографий: Shutterstock.com и garysmithphotography.co.uk.*



Диаграмма 8

Расчетные экологические издержки, вызванные выбросами химически активного азота в воздух и воду в ЕС-27 [22.6].

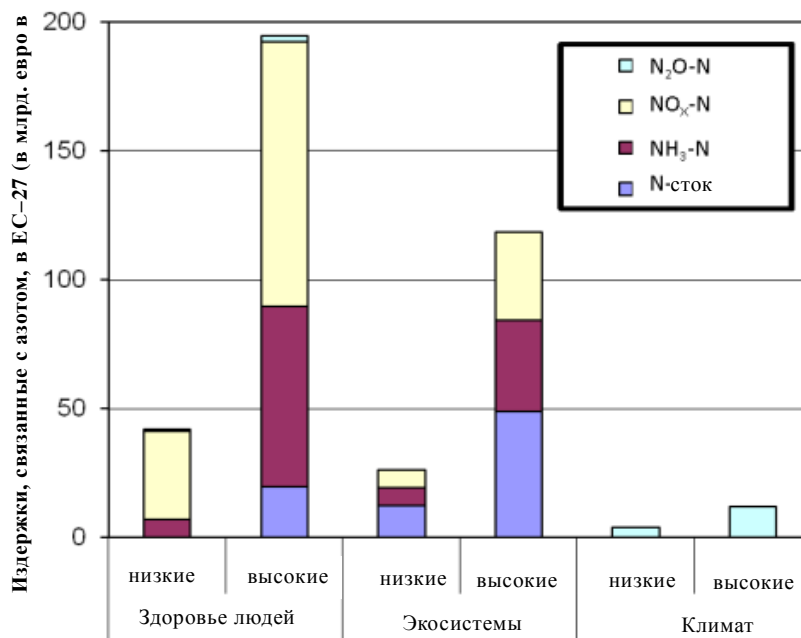


Диаграмма 9

Сценарии изменения объема выбросов азота в ЕС-27, подготовленные на основе репрезентативных динамик концентрации (РДК) для трех различных вариантов изменения показателя радиационного форсинга. В названиях вариантов показан уровень радиационного форсинга в 2100 году: 2,6 (R26), 4,5 (R45) и 8,5 (R85) Вт/м² [24.6].

