

**Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

**Руководящий документ о предотвращении
и сокращении выбросов аммиака
из сельскохозяйственных источников***Резюме*

На своей тридцать первой сессии (Женева, 11–13 декабря 2012 года) Исполнительный орган по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния утвердил измененный руководящий документ о предотвращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников (ECE/EB.AIR/113/Add.1, решение 2012/11) и постановил считать настоящий руководящий документ измененным руководящим документом, упомянутым в пункте 8 b) статьи 3 Гётеборгского протокола и в пункте 6 приложения IX к Гётеборгскому протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1999 года (Гётеборгский протокол) (ECE/EB.AIR/113/Add.1, решение 2012/11).

Изложенный ниже утвержденный руководящий документ был подготовлен для того, чтобы помочь Сторонам с применением, где это целесообразно, наилучших имеющихся методов предотвращения и сокращения выбросов аммиака (NH₃), особенно сокращения выбросов аммиака из крупных источников. В нем также описываются рекомендуемые низкоэмиссионные способы внесения жидкого навоза с учетом почвенных, геоморфологических условий, типа навоза и структуры хозяйств.



Содержание

	<i>Пункты</i>	<i>Стр.</i>
Перечень сокращений и акронимов		4
Резюме	1–14	6
I. Введение	15–25	14
II. Производство продукции животноводства и тенденции	26–34	18
III. Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла	35–46	21
IV. Технологии кормления сельскохозяйственных животных	47–59	26
V. Содержание сельскохозяйственных животных	60–117	30
A. Системы содержания молочного и мясного скота	60–72	30
B. Системы содержания свиней	73–95	34
C. Системы содержания птицы	96–117	40
VI. Методы хранения навоза	118–129	46
VII. Методы внесения навоза	130–177	49
VIII. Внесение удобрений	178–195	67
A. Удобрения на основе мочевины	178–192	67
B. Удобрения на основе сульфата, фосфата и нитрата аммония	193–195	71
IX. Другие меры, касающиеся сельскохозяйственного азота	196–200	71
A. Выпас	196–197	71
B. Обработка навоза	198–199	72
C. Несельскохозяйственное использование азота	200	73
X. Несельскохозяйственные стационарные и мобильные источники выбросов	201–220	73
A. Общие методы	203–207	73
B. Методы, подходящие для отдельных секторов экономики	208–214	74
C. Производство неорганических азотных удобрений, мочевины и аммиака	215–220	75
Приложения		
I. Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла		77
II. Технологии кормления сельскохозяйственных животных		94
Библиография		107
Таблицы		
S1 Ориентировочный диапазон целевых значений избытка азота и ЭИА в зависимости от специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и вида животных		7
S2 Ориентировочные целевые уровни протеина (%) в сухом корме со стандартным содержанием сухого вещества 88% при стойловом содержании в зависимости от категории животных и различных целевых уровней		9

S3	Методы сокращения выбросов аммиака при содержании животных, уровень их снижения и сопутствующие затраты.....	11
S4	Методы сокращения выбросов аммиака из навозохранилищ, уровни их сокращения и сопутствующие затраты	12
S5	Методы сокращения выбросов аммиака при внесении навоза, уровни их сокращения и сопутствующие затраты	13
S6	Методы сокращения выбросов аммиака при внесении мочевины и аммонийных удобрений, уровни сокращения выбросов и сопутствующие затраты	14
1	а) Капитальные затраты (капитальные расходы (КАПРАСХ)).....	17
1	б) Годовые затраты (текущие расходы (ТЕКРАСХ)): годовые затраты, связанные с внедрением метода.....	17
2	Ориентировочный диапазон целевых показателей $N_{изб}$ и ЭИА в зависимости от специализации хозяйств, сельскохозяйственных культур и вида животных.....	24
3	Ориентировочные целевые уровни содержания СП (в процентах от сухого вещества рациона) и соответствующая ЭИА в продукции животноводства в массовых долях (кг/кг) для КРС	27
4	Ориентировочные целевые показатели СП в кормовых рационах свиней.....	29
5	Ориентировочные целевые показатели СП в корме для птицы	30
6	Выбросы аммиака в различных системах содержания КРС (базовые системы и методы категорий 1 и 2)	33
7	Методы категорий 1 и 2: уровень сокращения выбросов и затраты на низкоэмиссионные системы содержания свиней.....	38
8	Системы клеточного содержания кур-несушек (базовая система): методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH_3	42
9	Системы содержания кур-несушек в улучшенных клетках: методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH_3	43
10	Бесклеточные системы содержания кур-несушек: методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH_3	43
11	Система содержания бройлеров: методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH_3	45
12	Меры по сокращению выбросов аммиака из хранилищ навоза КРС и свиного навоза	48
13	Методы сокращения выбросов категории 1 при внесении в почву жидкого навоза	51
14	Методы сокращения выбросов категории 1 при внесении в почву твердого навоза	52
15	Варианты сокращения выбросов аммиака из удобрений на основе мочевины (категория 1).....	70
Рисунок		
	Зависимость между процентной долей общего аммонийного азота (ОАА), выделившегося в форме аммиака во время внесения в почву жидкого навоза, и содержанием сухого вещества (СВ, в % от массы) в жидком навозе, установленная на основе данных шести оценок	58

Перечень сокращений и акронимов

°C	градус Цельсия
АММ	азот мочевины в молоке
АРСЕВ	автоматически регулируемая система естественной вентиляции
баз.	базовый
БРЕФ-НИМ	справочный документ по наилучшим имеющимся методам
БФА	биологическая фиксация азота
ВТС	высота травостоя
г	грамм
га	гектар
ЕС	Европейский союз
ЭК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
КНЭУ	коэффициенты N-эквивалентности удобрений
КАПРАСХ	капитальные расходы
кат.	категория
кг	килограмм
КПКЗ	комплексное предупреждение и контроль загрязнений
ЛЖК	летучие жирные кислоты
ЛОС	летучие органические соединения
мм	миллиметр
НИМ	наилучшие имеющиеся методы
НПС	некрахмальные полисахариды
ОАА	общий аммонийный азот
РОА	растворимый органический азот
СВ	сухое вещество
см	сантиметр
СН	стойловый навоз
СП	сырой протеин
СУСВ	система управления сроками внесения
ТЕКРАСХ	текущие расходы
ТК	теплоизоляция крыши
УГ	условные головы
ЭИА	эффективность использования азота
С	углерод

Ca	кальций
Ca(NO ₃) ₂	нитрат кальция
CaCl ₂	хлористый кальций
CaCO ₃	карбонат кальция
CaSO ₄	сульфат кальция (гипс)
CH ₄	метан
CO ₂	двуокись углерода
LECA	керамзитовые шарики
Mg	магний
N	азот
N ₂	двухатомный азот
N ₂ O	закись азота
NH ₃	аммиак
NH ₃ -N	аммонийный азот
NH ₄	аммоний
NH ₄ NO ₃	нитрат аммония
NO ₃	нитрат (селитра)
NO _x	окислы азота
NPК	азот-фосфор-калий
N _{изб}	избыток азота в балансе "вход-выход"
P	фосфор
pH	~кислотность; отрицательный логарифм активности водородных ионов (H ⁺)
PM ₁₀	грубодисперсные частицы (<10 микрометров)
PM _{2,5}	мелкодисперсные частицы (<2,5 микрометров)
S	сера

Резюме

1. Цель настоящего документа состоит в том, чтобы помочь Сторонам Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК) определиться с выбором методов сокращения выбросов аммиака (NH_3) из сельскохозяйственных источников в соответствии с приложением IX к Протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол).

2. В настоящем документе обобщаются:

- a) современные знания о методах и стратегиях сокращения выбросов NH_3 ;
- b) научно-технические основы методов и стратегий;
- c) экономические затраты на методы сокращения в пересчете на евро на килограмм (кг) сокращения выбросов NH_3 ;
- d) любые ограничения применимости этих методов.

3. В документе рассматриваются меры снижения выбросов NH_3 в следующих областях:

- a) управление потоками азота (N) с учетом полного азотного цикла;
- b) технологии кормления скота;
- c) методы содержания животных;
- d) методы хранения навоза;
- e) методы внесения навоза;
- f) методы внесения удобрений;
- g) другие меры, связанные с сельскохозяйственным азотом;
- h) меры, связанные с несельскохозяйственными и стационарными источниками.

4. **Управление потоками азота** представляет собой комплекс мер по сокращению потерь азота. Управление потоками азота основано на исходной посылке, согласно которой сокращение избытка азота ($N_{\text{изб}}$) и повышение эффективности использования азота (ЭИА) способствуют сокращению выбросов аммиака. В смешанных животноводческих хозяйствах от 10% до 40% избыточного азота обуславливаются выбросами NH_3 . Цель управления потоками азота состоит также в том, чтобы выявлять и предотвращать нежелательный обмен в структуре загрязнения между различными соединениями азота и объектами окружающей природной среды. Определение баланса "вход-выход" по азоту на уровне отдельного хозяйства является необходимым условием создания базы для комплексной оптимизации системы управления потоками азота.

5. Затраты на составление азотного баланса для одного хозяйства колеблются в пределах 200–500 евро в год. (В балансе учитываются все источники поступления азота, такие как корма, удобрения и т.д., и все выносы азота с продукцией.) Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением и освоением методов, здесь не рассматриваются. Затраты на повышение ЭИА за счет совершенствования методов управления составляют около 1 евро

1 кг снижения N. Возможная экономия получается за счет сокращения расходов на удобрения и повышения качества урожая. Возможные затраты обусловлены увеличением расходов на консультационные услуги и проведение анализов почвы, культур, кормов и навоза. Материальные затраты на возможные инвестиции в методы здесь не рассматриваются, но обсуждаются в других разделах. В таблице S1 приводятся ориентировочные диапазоны эффективности использования азота (ЭИА) и $N_{изб}$ в балансе "внос–вынос" для сельхозпредприятий различной специализации. Эти диапазоны служат в качестве отправных значений, которые могут уточняться с учетом конкретных особенностей специализации хозяйства и страны. ЭИА следует регулировать вместе с регулированием эффективности использования всех питательных веществ и других факторов, таких как борьба с вредителями.

Таблица S1

Ориентировочный диапазон целевых значений избытка азота и ЭИА в зависимости от специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и вида животных

<i>Специализация хозяйства</i>	<i>Сельхозкультуры/ виды животных</i>	<i>ЭИА (кг/кг)</i>	<i>Избыток N (кг/га/год)</i>	<i>Примечания</i>
Специализированные растениеводческие хозяйства	Пропашные культуры	0,6–0,9	0–50	Зерновые имеют высокую ЭИА, корнеплоды – низкую ЭИА
	Овощи	0,4–0,8	50–100	Листовые овощи имеют низкую ЭИА
	Фрукты	0,6–0,9	0–50	
Хозяйства с пастбищным содержанием жвачных животных	Молочный скот	0,3–0,5	100–150	Высокие надои, высокая ЭИА; низкая платность содержания, низкий избыток азота
	Мясной скот	0,2–0,4	50–150	Производство телятины, высокая ЭИА; двухлетний мясной скот, низкая ЭИА
	Овцы и козы	0,2–0,3	50–150	
Смешанные растениеводческие-скотоводческие хозяйства	Молочный скот	0,4–0,6	50–150	Высокие надои, высокая ЭИА; кормление концентрированными кормами, высокая ЭИА
	Мясной скот	0,3–0,5	50–150	
	Свиньи	0,3–0,6	50–150	
	Птица	0,3–0,6	50–150	
	Другие животные	0,3–0,6	50–150	

Специализация хозяйства	Сельскохозяйственные/виды животных	ЭИА (кг/кг)	Избыток N (кг/га/год)	Примечания
Безземельные хозяйства	Молочный скот	0,8–0,9	н.п. ^a	Вынос N с молоком, животными, навозом + потери N ~ равен поступлениям азота; Избыток N – это газообразные потери N из помещений для содержания животных и из навозохранилищ
	Мясной скот	0,8–0,9	н.п. ^a	
	Свиньи	0,7–0,9	н.п. ^a	
	Птица	0,6–0,9	н.п. ^a	
	Другие животные	0,7–0,9	н.п. ^a	

^a Неприменимо к данному случаю, так как данные хозяйства почти не имеют земли. Однако избыток азота может быть выражен в кг на одно хозяйство в год. Если все животные продукты, включая навоз, растительные остатки и отходы вывозятся, то целевой показатель избытка азота находится в пределах 0–1 000 кг на одно предприятие в год в зависимости от размера хозяйства и газообразных потерь азота.

6. **Технологии кормления животных** сокращают выбросы NH_3 из навоза как в помещениях для содержания животных и в навозохранилищах, так и при последующем его внесении на поля. Технологии кормления скота труднее применять при пастбищном содержании животных, но выбросы с пастбищ низки, и само по себе пастбищное содержание относится к мерам категории 1¹ по снижению выбросов. Технологии кормления скота реализуются путем: а) фазового кормления, б) низкопротеинового кормления с добавлением или без добавления определенных синтетических аминокислот и угнетения ферментации белка в рубце, с) увеличения содержания некрахмальных полисахаридов в кормах и d) использования добавок, понижающих рН, например бензойной кислоты. Фазовое кормление – эффективная и экономически привлекательная мера, даже если для этого требуется дополнительное оборудование. Молодняк и высокопродуктивные животные больше нуждаются в повышенном содержании белка, чем старые, малопродуктивные животные. При снижении содержания белка в рационе в среднем на 10 г на кг (1%) общие выбросы аммиака из всех источников на сельхозпредприятии уменьшаются примерно на 10%. Материальные затраты на технологии кормления животных зависят от стоимости компонентов корма и возможностей корректировки соотношения этих компонентов до оптимальных значений, исходя из их доступности. В данном случае базой может служить усредненная и принятая в настоящее время практика, которая весьма неодинакова в разных странах и меняется со временем. Чистая себестоимость технологий кормления животных зависит от подбора рациона и изменения продуктивности животных. Как правило, высокопротеиновые рационы и эффективные низкопротеиновые рационы обходятся дороже, чем рационы со средним содержанием белка. Как повышенное, так и пониженное содержание белка в

¹ Описание различных категорий см. в пунктах 18 и 19.

рационе оказывает негативное влияние на продуктивность животных, хотя на сельхозпроизводителях сильнее сказывается последнее. Стоимость подбора рациона колеблется в пределах от –10 до 10 евро на 1 000 кг кормов в зависимости от состояния рынка кормовых ингредиентов и стоимости синтетических аминокислот. Следовательно, в одни годы можно получить прибыль, в то время как в другие годы приходится нести расходы, связанные с изменением рациона. В таблице S2 обобщаются значения целевых уровней для снижения содержания протеина при сохранении эффективности производства для каждой категории животных (см. также приложение II). Следует отметить, что материальные затраты значительно увеличиваются по мере настойчивых попыток снизить среднее содержание протеина.

Таблица S2

Ориентировочные целевые уровни протеина (%) в сухом корме со стандартным содержанием сухого вещества 88% при стойловом содержании в зависимости от категории животных и различных целевых уровней

Категория животных	Среднее содержание сырого протеина в корме (%) ^a		
	Низкий целевой уровень	Средний целевой уровень	Высокий целевой уровень
Крупный рогатый скот			
Молочный скот, ранняя лактация (>30 кг/сутки)	17–18	16–17	15–16
Молочный скот, ранняя лактация (<30 кг/сутки)	16–17	15–16	14–15
Молочный скот, поздняя лактация	15–16	14–15	12–14
Ремонтный молодняк (телки)	14–16	13–14	12–13
Телки	20–22	19–20	17–19
Бычки <3 месяцев	17–18	16–17	15–16
Бычки >6 месяцев	14–15	13–14	12–13
Свиньи			
Супоросные свиноматки	15–16	14–15	13–14
Подсосные свиноматки	17–18	16–17	15–16
Отъемыши, <10 кг	21–22	20–21	19–20
Поросята, 10–25 кг	19–20	18–19	17–18
Свиньи на откорме, 25–50 кг	17–18	16–17	15–16
Свиньи на откорме, 50–110 кг	15–16	14–15	13–14
Свиньи на откорме, >110 кг	13–14	12–13	11–12
Куры			
Цыплята, бройлеры, начальный период откорма	22–23	21–22	20–21
Цыплята, бройлеры, период роста	21–22	20–21	19–20
Цыплята, бройлеры, конечный период откорма	20–21	19–20	18–19
Куры-несушки, 18–40 недель	17–18	16–17	15–16
Куры-несушки, >40 недель	16–17	15–16	14–15

Категория животных	Среднее содержание сырого протеина в корме (%) ^a		
	Низкий целевой уровень	Средний целевой уровень	Высокий целевой уровень
Индейки			
Индейки, <4 недель	26–27	25–26	24–25
Индейки, 5–8 недель	24–25	23–24	22–23
Индейки, 9–12 недель	21–22	20–21	19–20
Индейки, 13–16 недель	18–19	17–18	16–17
Индейки, >16 недель	16–17	15–16	14–15

Примечание: Уменьшение содержания протеина в корме на 1% может сократить общие выбросы NH₃ из всех источников выбросов в навозе на 10%.

^a При условии поступления правильно сбалансированных и оптимально усваиваемых аминокислот.

7. Методы сокращения выбросов NH₃ при содержании животных основываются на одном или нескольких из ниже перечисленных принципов:

- a) сокращение площади поверхности, загрязненной навозом;
- b) быстрое удаление мочи; быстрое разделение кала и мочи;
- c) снижение скорости воздушных потоков и температуры над поверхностью навоза;
- d) снижение показателя pH и температуры навоза;
- e) сушка навоза (особенно птичьего помета);
- f) удаление (очистка) NH₃ из удаляемого воздуха;
- g) увеличение продолжительности выпаса.

8. Все эти принципы относятся к методам категории 1, т.е. они научно обоснованы и проверены на практике. Различные категории животных требуют разных систем содержания и микроклимата, а, следовательно, разных методов. Поскольку предъявляются различные требования и применяются различные системы содержания скота, в зависимости от категории животных устанавливаются различные правила. В данном случае базовым вариантом являются самые обычные системы содержания животных, не предусматривающие применения мер по снижению выбросов NH₃. Затраты на используемые методы снижения выбросов NH₃ из помещений для содержания животных складываются из: a) амортизации капиталовложений; b) оплаты процентов по кредитам; c) расходов на энергоснабжение; и d) эксплуатационных расходов. Однако кроме затрат есть также и выгоды, связанные со здоровьем и продуктивностью животных. Эти выгоды трудно выразить в количественных показателях, и поэтому они не учитываются в общей смете расходов. В таблице S3 приводится общий обзор сокращения выбросов и затрат в разбивке по категориям животных.

Таблица S3
Методы сокращения выбросов аммиака при содержании животных, уровень их снижения и сопутствующие затраты

<i>Категория</i>	<i>Сокращение выбросов по сравнению с базовым вариантом (%)^a</i>	<i>Дополнительные расходы (в евро на кг снижения выбросов NH₃-N)</i>
Существующие помещения для свиней и птицы в хозяйствах с поголовьем >2 000 свиней на откорме или >750 свиноматок или >40 000 голов птицы	20	0–3
Новые или значительно перестроенные помещения для скота	0–70	1–20
Новые или значительно перестроенные помещения для свиней	20–90	1–20
Новые и значительно перестроенные помещения для бройлеров	20–90	1–15
Новые и значительно перестроенные помещения для кур-несушек	20–90	1–9
Новые и значительно перестроенные помещения для животных, не перечисленных в настоящей таблице	0–90	1–20

^a Подробнее базовые варианты излагаются ниже в настоящем руководящем документе.

9. Сокращение выбросов NH₃ при хранении навоза основано на одном или нескольких следующих главных принципах: а) уменьшение площади поверхности, с которой происходят выбросы, например, путем накрытия навозохранилищ, стимулирования образования корки и увеличения глубины навозохранилищ; б) уменьшение интенсивности выбросов за счет понижения pH и концентрации NH₄; и с) минимальное нарушение спокойного воздухообмена, например вентилированием. Все эти принципы включены в методы категории 1 (т.е. они научно обоснованы и проверены на практике). Данные принципы применимы как к хранилищам жидкого, так и твердого навоза (помета). Однако на практике они чаще применяются в хранилищах жидкого навоза, нежели в хранилищах твердого навоза (помета). Базовым вариантом является открытое хранилище жидкого навоза без корки и незакрытые кучи твердого навоза.

10. Затраты на методы снижения выбросов аммиака при хранении навоза складываются из а) затрат на амортизацию капиталовложений; б) оплаты процентов за кредит; с) эксплуатационных расходов. Ниже приведены общие затраты в евро за 1 кг снижения выбросов NH₃-N (таблица S4). Помимо затрат имеются также и выгоды, связанные с уменьшением неприятного запаха, сокращением ливневого стока и повышением безопасности (отсутствие открытых ям); некоторые выгоды трудно выразить в количественных показателях, поэтому они здесь не учитываются. Диапазоны затрат обуславливаются различными методами/вариантами и размерами хозяйств. Следует отметить, что затраты на само хранилище не включаются в расчеты, приведенные в таблице S4. Некоторые покрытия могут использоваться только при строительстве новых хранилищ. На величину общих потерь во время "хранения навоза" оказывают влияние такие виды его обработки, как разделение на фракции, компостирование и ферментация.

Таблица S4
**Методы сокращения выбросов аммиака из навозохранилищ,
 уровни их сокращения и сопутствующие затраты**

<i>Методы</i>	<i>Сокращение выбросов (%)</i>	<i>Затраты (евро на м³ год)</i>	<i>Затраты (евро на кг снижения выбросов NH₃-N)</i>
Плотная крышка	>80	2–4	1–2,5
Пластиковое покрытие	>60	1,5–3	0,5–1,3
Плавающее покрытие	>40	1,5–3 ^{a)}	0,3–5 ^{a)}

^a Без учета корки; при хранении некоторых видов навоза корка формируется естественным образом и ничего не стоит, но ее образованием сложно пренебречь.

11. Методы **внесения навоза с низким уровнем выбросов** основываются на одном или нескольких следующих главных принципах: а) сокращение площади поверхности, с которой могут происходить выбросы, например, путем ленточного внесения, инжекторного (внутрипочвенного) внесения, заделки в почву; б) сокращение продолжительности выбросов путем быстрой заделки навоза в почву или немедленного полива или быстрой инфильтрации; в) уменьшение интенсивности выбросов за счет снижения показателя рН и концентрации NH₄ в навозе (путем его разбавления). Все эти действия относятся к методам категории 1 (т.е. они научно обоснованы и проверены на практике). Данные действия в целом применимы при внесении, как жидкого, так и твердого навоза. Однако эти методы снижения выбросов больше пригодны и более эффективны для жидкого, чем для твердого навоза. Для твердого навоза наиболее подходящим методом является быстрая заделка его в почву и немедленный полив. Базовым вариантом является поверхностное внесение жидкого и твердого навоза. Четвертый принцип, внесение в условиях невысокой интенсивности испарения, например, при низкой температуре и небольшом ветре, относится к категории 2², поскольку он требует подтверждения эффективности. Затраты на методы снижения выбросов аммиака при внесении навоза складывается из: а) затрат на амортизацию капиталовложений в оборудование для внесения навоза; б) оплаты процентов по кредиту; в) дополнительных расходов на трактор и рабочую силу; и д) эксплуатационных расходов.

12. Ниже приводятся сводные общие затраты в евро на кг снижения выбросов NH₃-N (таблица S5). К сопутствующим выгодам относятся уменьшение неприятного запаха, сокращение потерь биоразнообразия, улучшение поедаемости зеленого корма, равномерность внесения и выравнивание реакции растений на вносимый навоз. Некоторые из этих выгод трудно выразить в количественных показателях, и поэтому они не учитывались при определении общих затрат. Диапазоны затрат зависят от содержания NH₄ в жидком/твердом навозе: чем выше содержание NH₄, тем меньше затраты на снижение выбросов. Средние значения затрат наиболее вероятны в нижней части диапазона, особенно если внесение осуществляется внешним подрядчиком в крупном хозяйстве или при помощи совместно используемого оборудования.

² Описание различных категорий см. в пунктах 18 и 19.

Таблица S5

Методы сокращения выбросов аммиака при внесении навоза, уровни их сокращения и сопутствующие затраты

<i>Виды навоза</i>	<i>Способ внесения</i>	<i>Сокращение выбросов (%)</i>	<i>Затраты (евро на кг снижения выбросов NH₃-N)</i>
Жидкий навоз	Инжекторное внесение	>60	-0,5–1,5
	Неглубокое инжекторное внесение	>60	-0,5–1,5
	Прицепной сошник,	>30	-0,5–1,5
	Ленточное (локальное) внесение	>30	-0,5–1,5
	Разбавление	>30	-0,5–1,0
	Системы управления	>30	0,0–2,0
	Прямая заделка после поверхностного внесения	>30	-0,5–2,0
Твердый навоз	Прямая заделка	>30	-0,5–2,0

13. Сокращение выбросов при **внесении мочевины и аммонийных удобрений** основано на одном или нескольких следующих принципах: а) сокращение площади поверхности, с которой происходят выбросы, например, путем ленточного внесения, инжекторного внесения, заделки (но следует отметить, что быстрое повышение рН на полосах с концентрацией мочевины, особенно там, где имеется большая концентрация пожнивных остатков, может привести к высоким выбросам за счет повышения рН); б) сокращение времени возможных выбросов путем быстрой заделки удобрений в почву или через полив; в) уменьшение интенсивности выбросов за счет использования уреазных ингибиторов, смешивания и окисления веществ; и d) запрет на использование (как в случае с (би)карбонатом аммония). Все эти мероприятия относятся к методам категории 1 (т.е. они научно обоснованы и проверены на практике). Базовым вариантом является поверхностное внесение мочевины и аммонийных удобрений разбрасыванием.

14. Расходы на методы снижения выбросов аммиака при внесении удобрений складываются из: а) затрат на амортизацию оборудования для внесения удобрений; б) оплаты процентов по кредиту; в) затрат на использование более мощных тракторов и увеличение трудовых затрат; и d) эксплуатационных расходов. Ниже приведены сводные общие затраты в евро на кг снижения выбросов NH₃-N (таблица S6). Возможные выгоды связаны со снижением затрат на удобрения, уменьшением затрат при использовании комбинированных систем внесения семян и удобрений, сокращением потерь биоразнообразия. Некоторые из этих выгод трудно выразить в количественных показателях, и поэтому они не учитывались при определении общих затрат. Диапазон затрат зависит от размера хозяйства (экономия за счет масштаба), почвенных и климатических условий (степень снижения выбросов выше в сухом климате). Средние расходы наиболее вероятны в нижней части диапазона, если внесение осуществляется подрядчиком или используются удобрения с низким уровнем выбросов.

Таблица S6
**Методы сокращения выбросов аммиака при внесении мочевины
и аммонийных удобрений, уровни сокращения выбросов
и сопутствующие затраты**

<i>Вид удобрения</i>	<i>Способы внесения</i>	<i>Сокращение выбросов (%)</i>	<i>Затраты (евро на кг снижения выбросов NH₃-N)</i>
Мочевина	Инжекторное внесение	>80	-0,5–1
	Уреазные ингибиторы	>30	-0,5–2
	Заделка после поверхностного внесения	>50	-0,5–2
	Поверхностное разбрасывание с поливом	>40	-0,5–1
Карбонат аммония	Запрещен	~100	-1–2
Аммонийные удобрения	Инжекторное внесение	>80	0–4
	Заделка после поверхностного внесения	>50	0–4
	Поверхностное разбрасывание с поливом	>40	0–4

I. Введение

15. Цель настоящего документа состоит в том, чтобы помочь Сторонам Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК) определиться с выбором методов сокращения выбросов аммиака (NH₃) из сельскохозяйственных источников с учетом всего азотного (N) цикла. Настоящий руководящий документ призван облегчить выполнение основных обязательств по Протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол) к Конвенции, упомянутых в статье 3 относительно выбросов NH₃, и, говоря конкретнее, будет способствовать эффективному осуществлению мер, перечисленных в приложении IX, и достижению национальных потолочных значений выбросов NH₃, приведенных в таблице 3 приложения II Протокола.

16. В документе рассматриваются вопросы сокращения выбросов NH₃ из сельскохозяйственных источников. Сельское хозяйство является основным источником выбросов NH₃, который выделяется, главным образом, из экскрементов сельскохозяйственных животных в животноводческих помещениях, при хранении, переработке, обеззараживании и внесении в почву навоза, и из экскрементов животных на выпасе. Выбросы также происходят при внесении в почву неорганических азотных (N) удобрений и из богатых азотом зерновых культур и пожнивных остатков, а также силоса из злаковых трав. Сокращения выбросов во всех указанных выше областях можно достичь путем принятия мер по борьбе с ними, которые имеют разную степень практичности, эффективности и уровни затрат.

17. Первый вариант руководящего документа (EB.AIR/1999/2) содержал общие рекомендации по сокращению выбросов NH₃. Этот первоначальный вариант был пересмотрен в 2007 году (ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13). Текущий вариант с новыми изменениями и дополнениями отражает научно-технические достижения на начало 2012 года.

18. В настоящем документе методы и стратегии сокращения выбросов NH_3 и потерь N сгруппированы по трем категориям:

а) **Методы и стратегии категории 1:** Они хорошо изучены, считаются осуществимыми или потенциально осуществимыми на практике, и их соответствующая эффективность подтверждена количественными показателями, по меньшей мере, на экспериментальном уровне;

б) **Методы и стратегии категории 2:** Они являются перспективными, но на данный момент еще недостаточно исследованы, при этом их эффективность во всех случаях с трудом поддается количественной оценке. Это не означает, что они не могут применяться в рамках какой-либо стратегии сокращения NH_3 в зависимости от местных условий;

в) **Методы и стратегии категории 3:** Пока не имеется данных, подтверждающих их эффективность, или их, по всей видимости, следует исключить по практическим соображениям.

19. Возможность использования методов категории 1 в соответствующих стратегиях сокращения выбросов NH_3 можно считать уже подтвержденной, если опираться на имеющиеся исследования. Методы категорий 2 и 3 также могут использоваться в стратегиях сокращения выбросов. Однако, что касается этих категорий, Стороны Конвенции должны предоставить результаты независимых исследований, подтверждающие эффективность снижения выбросов NH_3 до уровней, о которых Стороны заявляют. Следует отметить, что затраты на тот или иной метод не рассматриваются при отнесении его к определенной категории. Информация о затратах указывается в качестве обоснования принимаемых решений об использовании рассматриваемых методов.

20. В соответствии с Директивой³ о комплексном предупреждении и контроле загрязнений Европейского совета (ЕС) (КПКЗ) (замененной в ноябре 2011 года Директивой о промышленных выбросах)⁴ на уровне Европейского союза было подготовлено отдельное руководство по снижению выбросов ряда загрязняющих веществ из крупных свиноводческих и птицеводческих комплексов. В настоящее время пересматривается *Справочный документ о наилучших имеющихся методах для интенсивного птицеводства и свиноводства*⁵. Руководящий документ и Справочный документ по НИМ (или БРЕФ-НИМ) совпадают лишь частично, поскольку в последнем документе НИМ касались только свиноводческого и птицеводческого секторов, но не были установлены ни для КРС, овец или других сельскохозяйственных животных, ни для внесения в почву навоза или удобрений. Настоящий документ больше касается сельскохозяйственных предприятий и отраслей сельского хозяйства, так как затрагивает, в том числе, проблему выбросов NH_3 при внесении навоза и удобрений в почву и выбросов из других источников.

21. Варианты сокращения выбросов NH_3 на разных этапах образования и утилизации навоза взаимосвязаны, и сочетание этих мер не следует рассматривать как простую сумму с точки зрения совокупной эффективности мер по сокращению выбросов. Особенно большое значение имеет борьба с выбросами

³ Директива 2008/1/ЕС Европейского парламента и Совета от 15 января 2008 года, касающаяся комплексного предупреждения и контроля загрязнений.

⁴ Директива 2010/75/EU Европейского парламента и Совета от 24 ноября 2010 года о промышленных выбросах (комплексном предупреждении и контроле загрязнений).

⁵ Размещен по адресу <http://eirpcb.jrc.es/reference/irpp.html> (доступен с 24 мая 2013 года).

при внесении навоза в почву потому, что они, как правило, образуют наибольшую долю всех выбросов из животноводческого сектора и потому, что внесение в почву является последним этапом операций с навозом. Без снижения выбросов на этом этапе многие положительные результаты, достигнутые при нередко более затратном ограничении выбросов в животноводческих помещениях и при хранении навоза, могут быть сведены к нулю. Аналогичным образом, снижение выбросов в процессе внесения навоза в почву не будет оказывать столь значительного положительного воздействия на общие потери хозяйства и эффективность использования N, если в помещениях для животных и хранилищах будут происходить большие потери. Снижение содержания N в экскрементах животных оказывает самое непосредственное воздействие на выбросы, а поэтому этот вопрос также рассматривается в настоящем документе. В связи с этой взаимозависимостью Сторонам, чтобы оптимизировать свои стратегии сокращения выбросов, следует разработать и использовать модели, в которых оценивается общий массовый расход N. Поэтому в документе рассматриваются все условия в хозяйстве, включая кормление животных.

22. Многие меры могут повлечь как капитальные, так и эксплуатационные расходы (см. таблицу 1 а) и б)). Помимо теоретических расчетов, основанных на капитальных и эксплуатационных затратах, следует использовать фактические данные о затратах (например, расценки подрядчиков), если таковые имеются. Помимо подсчета прямых затрат следует максимально рассчитывать выгоды, которые сулят принятые меры. Во многих случаях суммарные выгоды для хозяйства (например, сокращение потребностей в минеральных удобрениях, повышение гибкости агротехнических приемов, снижение выбросов других загрязняющих веществ, уменьшение жалоб на неприятный запах) могут перевесить затраты. Сравнение себестоимости продукции для хозяйства (т.е. себестоимость минус прибыль) с другими экологическими выгодами (например, улучшением качества воздуха, воды и почвы, сокращением потерь биоразнообразия, меньшим воздействием на климат) выходит за рамки данного документа.

23. Затраты на внедрение указанных методов в разных странах будут варьироваться. Следует отметить, что, благодаря экономии от масштаба, некоторые методы сокращения выбросов могут оказаться более рентабельными в крупных хозяйствах, чем в мелких хозяйствах. Это особенно справедливо в тех случаях, когда для применения метода по снижению выбросов требуется приобретение основных средств, например, навозоразбрасывателей с низким уровнем выбросов для внесения жидкого навоза. В подобных случаях удельные затраты снижаются по мере увеличения объемов навоза. Бремя расходов небольших хозяйств будет расти при быстрой заделке навоза в почву после внесения. Как при внесении жидкого навоза, так и при немедленной заделке в почву навоза затраты небольших хозяйств можно сократить за счет распределения расходов на оборудование между несколькими хозяйствами путем привлечения подрядчиков, имеющих доступ к подходящему оборудованию, иногда местной конструкции и изготовления. Поэтому верхняя граница расходов также может быть снижена, если усилия по сокращению выбросов сосредоточить на средних и крупных хозяйствах.

Таблица 1 а)

Капитальные затраты (капитальные расходы (КАПРАСХ))⁶

<i>Статья расходов</i>	<i>Примечания</i>
Инвестиции в основной капитал (стационарное оборудование или технику)	Стационарное оборудование включает строения, установки, перепрофилированные строения, кормохранилища или закрытые навозохранилища. Под техникой понимаются шнековые кормораздатчики, машины для внесения навоза или оборудование для переработки навоза и т.д.
Расходы на монтажные работы	Следует применять договорные ставки, если они являются стандартными. Если при переоборудовании к монтажным работам привлекаются работники хозяйства, то привлеченные работники должны оплачиваться по типовой часовой ставке. Вклад сельхозпроизводителей должен оцениваться по размеру вмененных издержек.
Субсидии	Следует вычесть сумму инвестиционных субсидий, доступных для сельхозпроизводителей.

Таблица 1 б)

Годовые затраты (текущие расходы (ТЕКРАСХ)): годовые затраты, связанные с внедрением метода

<i>Статья расходов</i>	<i>Примечания</i>
Годовая стоимость капитальных вложений должна подсчитываться исходя из всего инвестиционного периода	Следует пользоваться стандартной формулой. Соответствующий период будет зависеть от срока эксплуатации. При переоборудовании следует учитывать оставшийся срок службы первоначального объекта.
Следует рассчитывать стоимость ремонтных работ, связанных с инвестициями	Определенная процентная доля капитальных затрат.
Изменение затрат на рабочую силу	Дополнительные часы x часовая ставка.
Затраты на топливо и энергию	Может возникнуть необходимость учета дополнительных энергетических потребностей.
Изменение продуктивности животных	Изменение рациона или форм содержания могут повлиять на продуктивность животных и отразиться на затратах.

⁶ КАПРАСХ (новые) означают инвестиционные расходы на сооружение новых строений в отличие от КАПРАСХ на модернизацию, под которой понимается перестройка и ремонт строений.

<i>Статья расходов</i>	<i>Примечания</i>
Экономия расходов и производственные выгоды	<p>Внедрение новых методов нередко дают экономии расходов сельхозпроизводителей. Такую экономию следует выражать в количественных показателях.</p> <p>При расчете материальных выгод следует отдельно учитывать недопущение штрафов за загрязнение окружающей среды.</p>

24. Когда это возможно, перечисленные в настоящем документе методы четко определяются и оцениваются в сравнении с "базовым вариантом" или с вариантом без применения мер по снижению выбросов. Базовый вариант, в сравнении с которым рассчитывается процентная доля сокращения выбросов, определяется в начале каждой главы. В большинстве случаев за базовый вариант принимается наиболее распространенный в настоящее время в товарных хозяйствах региона ЕЭК метод или схема, которые используются для исходной инвентаризации выбросов.

25. Внедрение новых мер нередко сопряжено с расходами на обучение, продвижение и освоение, которые в данном документе не рассматриваются. В большинстве случаев эти меры сопровождаются значительными сопутствующими выгодами, повышающими общий уровень благосостояния хозяйств и населения, но которые не учитываются при калькуляции затрат. В качестве примера можно привести уменьшение неприятного запаха, вызванное сокращением выбросов, а от этого выиграет население (и даже может привести к увеличению туризма), производители и их семьи. В расчет также не принимается экономия вторичных затрат, например, на сокращение загрязнения окружающей среды и экономию энергоресурсов на предприятиях по производству минеральных удобрений благодаря лучшему сохранению NH_3 в хозяйствах. Некоторые меры (например, инжекторное внесение навоза, покрытие стойлового навоза (СН), подкисление, очистка отводимого воздуха) уменьшают риск загрязнения водотоков N и другими биогенными веществами, патогенными организмами и другими загрязнителями.

II. Производство продукции животноводства и тенденции

26. Главными источниками выбросов NH_3 в большинстве стран региона ЕЭК ООН являются экскременты сельскохозяйственных животных при стойловом содержании, навоз в процессе его хранения, переработки, обеззараживания и внесения в почву, а также экскременты животных на выпасе. По этой причине в настоящем документе крайне необходимо дать краткую информацию о животноводческом секторе.

27. Животноводство вносит важный вклад в мировое производство продовольствия и в экономику сельского хозяйства, а также в рацион питания и культуру человека. На его долю приходится 40% объема мирового сельскохозяйственного производства в денежном выражении, обеспечивает 10–15% всех пищевых калорий и одну четвертую часть белка в рационе. В большинстве районов развивающихся стран это самый быстро развивающийся сегмент сельскохозяйственного сектора. Ожидается, что животноводство в изобилии обеспечит растущее городское население безопасными продуктами питания, а почти один

миллиард малоимущих производителей – средствами к существованию; что оно даст толчок к освоению необрабатываемых земель, обеспечит фермерам, ведущим натуральное хозяйство, продовольственную безопасность при неурожаях; будет способствовать использованию пищевых отходов и растительных остатков после уборки урожая и даже обеспечению топливом, а также концентрации и потоку сельскохозяйственных питательных веществ, а также общемировых общественных благ, связанных с продовольственной безопасностью, экологической устойчивостью и здравоохранением (Geers and Madec, 2006; FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010).

28. Несмотря на то, что животноводческий сектор выполняет различные общественно полезные функции, а мировой спрос на молочную, мясную и яичную продукцию в ближайшие десятилетия будет расти, усиливается давление на (интенсивные) системы производства продукции животноводства с тем, чтобы повысить их безопасность для окружающей среды. Животноводческий сектор – основной мировой землепользователь; он причастен к вырубке лесов и сокращению биоразнообразия (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010). Он также является основным потребителем пресной воды, преимущественно при производстве животных кормов, в то время как в некоторых районах наблюдается ее дефицит. Животноводство – главный источник атмосферного аммиака (NH_3), и парниковых газов – метана (CH_4) и закиси азота (N_2O). Выбросы аммиака образуются главным образом путем связывания азота, содержащегося в навозе. Выбросы NH_3 при производстве продукции животноводства зависят от вида, поголовья и генетического потенциала животных, от кормления и ухода за животными, от способа содержания животных и от обращения с навозом (Wouman et al., 1997; Steinfeld et al., 2006; Oenema et al., 2008). Животные испытывают наибольшую потребность в химически активном азоте в Европе. Например, по данным проекта "Европейская оценка азота" 85% N, накопленного в урожае, содержится в корме для животных и только 15% – непосредственно в продуктах питания людей (Sutton et al., 2011).

29. Системы животноводства можно ориентировочно разделить на а) пастбищные; б) смешанные; в) безземельные системы с исключительно стойловым содержанием животных или индустриальные системы (например, Seré and Steinfeld, 1996). Пастбищные системы – это системы, в основу которых положено использование пастбищных угодий при плотности выпаса менее 1–2 условных голов (УГ) на гектар в зависимости от продуктивности пастбища. В смешанных системах существенная часть объема производства в денежном выражении обеспечивается не за счет животноводства, а за счет других видов деятельности, причем часть кормов часто завозится со стороны. В индустриальных системах плотность животных превышает 10 условных голов на гектар, при этом они зависят в основном от внешних поставок кормов, энергии и других факторов производства. В индустриальных системах в хозяйствах производится 0–10% сухого животного корма. К важным показателям систем животноводства относятся плотность поголовья в условных головах на гектар (гол/га) и количество получаемого молока или мяса в кг на га в год. Общепринятым и полезным индикатором нагрузки на окружающую среду является общее выделение из экскрементов животных N или P на гектар в год (например, Menzi et al., 2010).

30. Для каждого вида сельскохозяйственных животных можно провести различие между обычным и "органическим" сельским хозяйством, а также между интенсивной и экстенсивной системами. Интенсивные системы животноводства характеризуются большими объемами производства мяса, молока и яиц на единицу площади сельскохозяйственных угодий и на единицу скота (т.е. на услов-

ную голову), что обычно совпадает с высокой плотностью животных на единицу сельскохозяйственных угодий. Это достигается чаще всего за счет высокой эффективности конверсии корма в животноводческую продукцию. Благодаря своим возможностям быстро реагировать на растущий спрос на дешевые продукты животноводства, интенсивные системы в настоящее время производят подавляющую долю свинины, мяса птицы и яиц (56, 72 и 61%, соответственно) и значительную долю молока на мировом рынке (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2009).

31. Традиционно, большинство продуктов животноводства, потребляемых человеком, было местного производства, корма для животных также производились на местах. Сейчас все больше продуктов животноводства, потребляемых городскими жителями, производится с использованием кормов, привозимых из других районов. Особенно это справедливо для продукции свиноводства и птицеводства. Таким образом, районы производства кормов и районы свиноводства и птицеводства становятся все более оторванными от мест потребления животных продуктов. Это стало возможным благодаря развитию эффективной транспортной инфраструктуры и относительно низким ценам на ископаемое топливо; так, стоимость доставки концентрированных кормов ниже, чем остальные производственные затраты. Транспортировка мяса и яичных продуктов также стала дешевле. Однако удаление производства кормов для животных от животноводческих хозяйств имеет самые серьезные последствия для надлежащего повторного использования и хранения навоза (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010 и приводящаяся там библиография).

32. Все чаще производственно-сбытовые цепочки организуются и группируются по региональному принципу, чтобы максимально снизить затраты на производство, переработку и доставку продукции. Корма для животных – это основной фактор производства в животноводстве; далее идут рабочая сила, энергия, вода и услуги. Размер этой составляющей себестоимости производства существенно варьируется по регионам одной страны, а также между странами и континентами. Доступ к технике, рабочей силе и ноу-хау распределен тоже неравномерно, как и способность реагировать на изменения окружающей среды и конъюнктуры на рынке. Кроме того, существуют институциональные модели и культурные особенности, которые также оказывают влияние на себестоимость производства, доступ к технологиям и операционные затраты. Сочетание указанных факторов приводит к тому, что системы животноводства становятся более масштабными, более специализированными и более интенсивными (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010).

33. Системы производства животноводческой продукции относятся к динамичным системам в силу постоянного развития и изменения технологий, рынков, транспортной сферы и логистики. Все чаще продукция животноводства становятся "мировым товаром", а системы производства продукции животноводства работают на "открытом" и высококонкурентном мировом рынке. Постоянному развитию способствует растущий спрос на дешевые животные продукты питания в результате роста городского населения и роста потребления животных продуктов на душу населения, хотя и здесь наблюдаются существенные экономические, региональные и континентальные различия. Дополнительный спрос на продукцию животноводства сосредотачивается в городах (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010).

34. Быстрое развитие систем животноводства оказывает сильное влияние на выбросы NH_3 , N_2O и CH_4 из этих систем в атмосферу и на вымывание и сток N в водные объекты. В стратегиях сокращения выбросов должны учитываться эти

и прогнозироваться новые явления и прогнозироваться дальнейшие перемены, чтобы обеспечить эффективность и действенность этих стратегий сейчас и в будущем.

III. Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла

35. Управление часто называют "четвертым фактором производства" наряду с землей, рабочей силой и капиталом (методами). Его значение для экономических и экологических показателей сельского хозяйства огромно. Обычно управление определяется как "совокупность (логически) последовательных действий, направленных на достижение (определенных) целей". Управление потоками азота можно определить как "совокупность (логически) последовательных действий, связанных с управлением азотным циклом и потоками N на сельскохозяйственных предприятиях и направленных на достижение агрономических и природоохранных/экологических целей" (например, Oenema and Pietrzak, 2002). Агрономические цели связаны с урожайностью и качеством сельскохозяйственных культур и продуктивностью животных в контексте их благополучия. Природоохранные/экологические цели связаны с минимизацией потерь N в сельском хозяйстве. Выражение "с учетом полного азотного цикла" подчеркивает необходимость рассматривать все аспекты управления потоками азота, в том числе "снижение выбросов NH_3 ", для того, чтобы не допустить замещения одного вида загрязнения другим. Также следует избегать загрязнения другими веществами и других воздействий, хотя они в данном документе не рассматриваются. Управление потоками N можно рассматривать как "программное и организационное обеспечение", в то время как методы можно считать "аппаратными средствами" снижения выбросов N. Поэтому управление потоками N не должно рассматриваться в отрыве от используемых методов.

36. Поскольку управление потоками азота существенно различается в регионе ЕЭК ООН, соответственно будут отличаться и выбросы NH_3 . В целом выбросы N имеют тенденцию снижаться в случаях, когда:

- a) все источники азота в хозяйстве рассматриваются целостно, в контексте всего предприятия и всего азотного цикла;
- b) все источники N хранятся и утилизируются надлежащим образом;
- c) использование количества N строго увязывается с потребностями выращиваемых растений и животных;
- d) источники N используются своевременно и с помощью надлежащих методов, в надлежащих количествах и надлежащих местах;
- e) Все возможные пути потерь N рассматривается в комплексе.

Дополнительная информация об "Управлении потоками N с учетом полного азотного цикла" приводится в приложении I.

37. *Базовая ситуация:* Под базовой ситуацией понимается ситуация, когда хозяйство не планирует управление потоками N и не использует балансы N. В связи с внутренними различиями азотного цикла необходимо проводить различие между разными специализациями хозяйств, в частности, такими как:

- a) специализированные растениеводческие хозяйства, которые далее подразделяются на хозяйства, выращивающие:

- i) пропашные культуры;
- ii) овощи;
- iii) фрукты;
- b) животноводческие хозяйства пастбищного содержания скота, специализирующиеся на разведении:
 - i) молочного скота;
 - ii) мясного скота;
 - iii) овец и/или коз;
 - iv) других животных (буйволов, бизонов, оленей и т.д.);
- c) смешанные растениеводческие и животноводческие хозяйства с преобладанием животноводческого направления:
 - i) молочное животноводство;
 - ii) мясное животноводство;
 - iii) свиноводство;
 - iv) птицеводство;
 - v) другие животные;
- d) специализированные безземельные хозяйства, выращивающие:
 - i) молочный скот;
 - ii) мясной скот;
 - iii) свиней;
 - iv) птиц;
 - v) других животных.

Стратегии категории 1

38. Осуществление эффективного управления потоками N в масштабах хозяйства является эффективной стратегией повышения эффективности использования N и уменьшения его потерь. Оно подразумевает реализацию ряда (цикла) обычных управленческих мероприятий, проводящихся ежегодно:

- a) анализ:
 - i) потребностей растений и животных в N;
 - ii) имеющихся источников N;
 - iii) условий хранения и возможных утечек;
 - iv) имеющихся стратегий, методов и приемов эффективного использования N;
- b) принятие решений, включая:
 - i) разработку вариантов на основе предыдущих анализов;
 - ii) оценку последствий различных вариантов;

- iii) выбор наилучшего варианта для достижения агрономических и экологических целей;
- с) планирование, включая:
 - i) подготовку широкого плана действий и измерений, предусматривающего время, место, способы проведения и объемы мероприятий;
 - ii) составление реального плана действий по распределению имеющихся ресурсов питательных веществ с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальную экономическую выгоду и свести к минимуму воздействие на окружающую среду при соблюдении экологических ограничений;
- d) исполнение, т.е.:
 - i) практическое осуществление плана управления потоками N;
 - ii) учет фактических экологических условий;
 - iii) учет наилучших управленческих методических руководств и рекомендаций;
- e) мониторинг и контроль, т.е.:
 - i) сбор данных об урожайности и содержании N;
 - ii) составление балансов "вход–выход" по азоту;
- f) оценка (проверка достоверности и контроль достигнутых результатов в сравнении с поставленными целями), включая:
 - i) избыток азота ($N_{изб}$) в балансе "вход–выход";
 - ii) эффективность использования N (ЭИА).

39. Баланс "вход–выход" по азоту (также называемый баланс "у ворот хозяйства") может рассматриваться как инструмент мониторинга, способствующий совершенствованию управления потоками N (например, Jarvis et al., 2011). В нем на уровне хозяйства фиксируются все входы (поступления) N и все его выходы с полезными продуктами. Разность между объемами всего входящего и выходящего N – это избыток азота ($N_{изб}$), а соотношение объемов всего N, выходящего с полезными продуктами, и всего входящего N – это эффективность использования N (ЭИА). $N_{изб}$ является показателем нагрузки на окружающую среду; он выражается в количестве N на гектар в год. ЭИА – это показатель эффективности использования ресурсов (сколько азотистого белка в продуктах питания производится на единицу введенного N); он выражается в кг на кг (Doberman, 2007). Оба показателя, $N_{изб}$ и ЭИА, особенно зависят от типа хозяйства и уровня управления. Ориентировочные целевые значения могут устанавливаться как для $N_{изб}$, так и для ЭИА, опять-таки в зависимости от уровня управления и типа хозяйства. В некоторых странах информация об азотном балансе хозяйства, избытке азота и ЭИА может классифицироваться как конфиденциальная.

40. Балансы вход–выход по азоту используются в научных исследованиях в течение уже более 100 лет; а в некоторых странах и в некоторых хозяйствах уже более 10 лет они также служат нормативно-правовым инструментом. Однако опыта использования балансов "вход–выход" по азоту именно как инструмента снижения выбросов NH_3 накоплено существенно меньше. Эффективность применения балансов для сокращения выбросов NH_3 является самой большой в крупных хозяйствах с высокой плотностью поголовья животных. Составление

балансов вход–выход по азоту на уровне хозяйства требует знаний бухгалтерского учета в целом и знаний по поступлению азота и его выходу с продукцией. Имеющийся опыт показывает, что эти балансы хорошо понятны фермерам, и поэтому могут свободно использоваться при обмене информацией и для сравнения разных предприятий и их показателей. Это особенно важно, потому что улучшение баланса N позволяет фермерам сократить затраты на закупку минеральных удобрений. Точно так же для "органических" фермеров, не использующих минеральные удобрения, совершенствование азотного баланса позволяет улучшить использование N как дефицитного ресурса.

41. $N_{изб}$ и ЭИА зависят от специализации хозяйства и от агрономических и экологических задач. Поэтому целевые уровни $N_{изб}$ и ЭИА ориентированы на хозяйства определенного типа и таким образом должны рассматриваться и оцениваться в региональном контексте.

42. Прогресс в управлении потоками N можно оценить на основе данных об изменении значений $N_{изб}$ и ЭИА в течение продолжительного периода для определенного хозяйства или группы хозяйств. Для учета междугодовой изменчивости погодных условий или непредвиденных потерь следует установить пятилетний период. Улучшение управления потоками N будет проявляться в снижении $N_{изб}$ и повышении ЭИА. Совершенствование управления потоками N можно продолжать до достижения уровня "лучшей практики управления". Такой "лучший уровень управления" обычно устанавливается экспериментальными хозяйствами или лучшими хозяйствами, находящимися в верхнем пятом процентиле. Поэтому работа по улучшению управления потоками N может продолжаться до тех пор, пока хозяйства не достигнут уровня показателей лучших хозяйств, находящихся в пятом процентиле действующих хозяйств. Хозяйства в Дании и Нидерландах смогли достичь снижения $N_{изб}$ и повышения ЭИА приблизительно на 30% за 5 лет и на 50% за 10 лет (например, Mikkelsen et al., 2010; Oenema et al., 2011). Дальнейшее снижение $N_{изб}$ и увеличение ЭИА существенно замедляется по достижении уровня "лучших методов управления".

43. Ориентировочные целевые уровни для $N_{изб}$ и ЭИА представлены в таблице 2. Следует отметить, что ЭИА связана с $N_{изб}$ обратно пропорционально и нелинейно.

Таблица 2

Ориентировочный диапазон целевых показателей $N_{изб}$ и ЭИА в зависимости от специализации хозяйств, сельскохозяйственных культур и вида животных

Специализация хозяйств	Культуры/вид	ЭИА Избыток N,		Примечания
		(кг N/кг N)	(кг/га/год)	
Специализированные растениеводческие хозяйства	Пропашные культуры	0,6–0,9	0–50	Зерновые имеют высокую ЭИА. Корнеплоды имеют низкую ЭИА.
	Овощи	0,4–0,8	50–100	Листовые овощи имеют низкую ЭИА.
	Фрукты	0,6–0,9	0–50	
Системы пастбищного содержания жвачных животных	Молочный скот	0,3–0,5	100–150	Высокие надои молока, высокая ЭИА. Низкая плотность содержания животных, небольшой $N_{изб}$. Наличие бобовых культур повышает ЭИА.

Специализация хозяйства	Культуры/вид	ЭИА Избыток N,		Примечания
		(кг N/кг N)	(кг/га/год)	
	Мясной скот	0,2–0,4	50–150	Производство телятины, высокая ЭИА. Двухлетний мясной скот, низкая ЭИА.
	Овцы и козы	0,2–0,3	50–150	
Смешанные растениеводческо-животноводческие системы	Молочный скот	0,4–0,6	50–150	Высокие надои молока, высокая ЭИА. Кормление концентратами, высокая ЭИА.
	Мясной скот	0,3–0,5	50–150	
	Свиньи	0,3–0,6	50–150	
	Птицы	0,3–0,6	50–150	
	Другие животные	0,3–0,6	50–150	
Безземельные системы	Молочный скот	0,8–0,9	н.п. ^a	Выход N с молоком, животными и навозом ~ равен входу N. N _{изб} – газообразные потери N из помещений для животных и навозохранилищ.
	Мясной скот	0,8–0,9	н.п. ^a	
	Свиньи	0,7–0,9	н.п. ^a	
	Птицы	0,6–0,9	н.п. ^a	
	Другие животные	0,7–0,9	н.п. ^a	

^a Не применимо к данному случаю, так как данные хозяйства почти не имеют земли. Однако избыток азота может выражаться в кг на предприятие в год. Если все продукты животноводства, включая навоз, все растительные остатки и отходы вывозятся, то целевое значение избытка N может находиться в пределах 0–1 000 кг на хозяйство в год в зависимости от его размера и газообразных потерь N.

44. Ориентировочные затраты на составление баланса "вход–выход" по азоту колеблются в пределах от 200 до 500 евро на одно хозяйство в год в зависимости от типа хозяйства и от использования бухгалтерских и/или консультационных услуг. Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением и освоением методов, здесь не рассматриваются. В некоторых странах практическая доступность данных может оказаться ограничительным фактором для предприятий, но едва ли для "типовых" и "пилотных" предприятий. Затраты имеют тенденцию со временем снижаться (эффект накопленного опыта).

45. Себестоимость совершенствования управления потоками азота и, соответственно, повышения ЭИА и снижения N_{изб} находится в диапазоне от –1 до +1 евро на кг N (Reis, предстоящая публикация). Себестоимость – это разность между доходами от экономии удобрений и повышения производственных показателей и затратами на отбор проб и анализы, на обучение и консультации.

46. Национальные азотные бюджеты в сельском хозяйстве позволяют понять: а) стоимость N в производстве продуктов питания; б) потери N, связанные с производством продуктов питания на национальном уровне; и с) возможные варианты повышения ЭИА на национальном уровне. Национальные азотные бюджеты, пересчитанные в кг на га в год, также позволяют сравнить сельскохозяйственные секторы различных стран региона ЕЭК ООН и оценить динамику снижения суммарных потерь в рамках национальных азотных циклов. Для со-

ставления таких национальных азотных бюджетов были установлены одинаковые форматы и процедуры (в режиме реального времени). Затраты на составление азотного бюджета на национальном уровне колеблются в пределах от 10 000 до 100 000 евро в год в зависимости от наличия (доступности) статистических данных. Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением и освоением методов здесь не рассматриваются. В некоторых странах доступность данных может быть ограниченной. Для расчета национальных азотных бюджетов Целевой группой по реактивному азоту был подготовлен отдельный руководящий документ, который был принят Исполнительным органом (ECE/EB.AIR/119)⁷.

IV. Технологии кормления сельскохозяйственных животных

47. Газообразные потери азота в животноводстве образуются из экскрементов (кала) и мочи, которые выделяют животные. Рацион животных и технология кормления оказывают сильное влияние на продуктивность и физиологическое состояние животных, на состав кала и мочи и, следовательно, на выбросы NH_3 . В данном разделе рассматривается, каким образом технологии кормления способствуют снижению выбросов NH_3 . Дополнительная информация о технологиях кормления представлена в приложении II.

48. *Базовые методы:* Стратегии снижения выбросов аммиака, которые представлены в данном разделе, не определяются и не сопоставляются со стандартными "базовыми" (или не применяемыми мер по снижению выбросов или исходными) технологиями кормления, так как такие "базовые" стратегии отличаются в разных странах региона ЕЭК ООН. Необходимо также различать и категории животных, поскольку потребности в кормах и, следовательно, выделение N существенно различается у разных категорий животных.

49. Кормление животных кормами с низким содержанием белка является одним из наиболее рентабельных и приоритетных стратегических путей сокращения выбросов NH_3 . На каждый процент (в абсолютном выражении) снижения содержания протеина в кормах для животных, выбросы NH_3 из животноводческих помещений и навозохранилищ, а также при внесении навоза в почву снижаются на 5–15% в зависимости, в том числе от pH мочи и кала. К тому же кормление животных кормами с низким содержанием белка также снижает выбросы N_2O и повышает эффективность использования N в животноводстве. Кроме того, при условии, что соблюдаются все требования по аминокислотам, этот метод не влечет за собой никаких последствий для здоровья и благополучия животных.

50. Кормление животных кормами с низким содержанием протеина наиболее пригодно при стойловом содержании животных и менее пригодно для систем, основанных на пастбищном содержании животных, так как трава находится на раннем этапе физиологического развития и, следовательно, содержит много способного к разложению белка, а пастбищные бобовые травы (например, клевер и люцерна) имеют относительно высокое содержание протеина. Несмотря на имеющиеся технологии снижения содержания протеина в травостое (внесе-

⁷ Руководящий документ по национальным бюджетам азота (ECE/EB.AIR/119); размещен по адресу <http://www.unecce.org/environmental-policy/treaties/air-pollution/guidance-documents-and-other-methodological-materials/gothenburg-protocol.html>.

ние сбалансированных по N удобрений, выпас/скашивание пастбищ на более поздних этапах физиологического развития травостоя и т.д.), а также в рационе систем, основанных на пастбищном содержании животных (дополнительное кормление кормами с низким содержанием белка), эти технологии не всегда можно применять в полном объеме.

51. Материальные затраты на технологии кормления животных, которые снижают интенсивность выбросов NH_3 из экскрементов животных путем регулирования содержания сырого протеина (СП), зависят от исходного состава корма и от рыночных цен на его компоненты. В целом материальные затраты колеблются в пределах -2 до $+2$ евро на кг снижения выбросов $\text{NH}_3\text{-N}$, т.е. существуют потенциальные чистые доходы и потенциальные чистые расходы. В большинстве случаев экономические затраты возрастают, когда повышаются целевые показатели снижения потенциала выбросов NH_3 . Увеличение предельных затрат отчасти связано со стоимостью добавок синтетических аминокислот в сравнении с использованием соевых бобов. Затраты на добавление аминокислот имеют тенденцию к снижению. Затраты на добавки аминокислот возрастают, когда целевое содержание белка в корме понижается (см. также приложения I и II).

Технологии кормления молочного и мясного скота, включенные в категорию 1

52. Снижение содержания СП в рационе жвачных животных является эффективной и относящейся к категории 1 стратегией по сокращению потерь NH_3 . В данном случае действуют следующие рекомендации (таблица 3):

а) среднее содержание СП в рационе молочного скота не должно превышать 15–16% сухого вещества (СВ) (Broderick, 2003; Swensson, 2003). Для мясного скота старше 6 месяцев оно может быть снижено даже до 12%;

б) фазовое кормление можно организовать таким образом, чтобы содержание СП в рационе молочного скота постепенно уменьшалось с 16% СВ непосредственно перед отелом и ранней лактацией до 14% в период поздней лактации и большей части сухостойного периода;

с) фазовое кормление мясного скота можно организовать таким образом, чтобы содержание СП в рационе со временем снижалось с 16% до 12%.

Таблица 3

Ориентировочные целевые уровни содержания СП (в процентах от сухого вещества рациона) и соответствующая ЭИА в продукции животноводства в массовых долях (кг/кг) для КРС

<i>Виды скота</i>	<i>СВ (%)^a</i>	<i>ЭИА в животноводческой продукции (кг/кг)</i>
Молоко + содержание, ранняя лактация	15–16	0,30
Молоко + содержание, поздняя лактация	12–14	0,25
Нелактирующие (сухостойные) молочные коровы	13–15	0,10
Телята	17–19	0,45
КРС <3 месяцев	15–16	0,30
КРС 3–18 месяцев	13–15	0,15
КРС >18 месяцев	12	0,05

^a Приводящиеся в данной таблице значения можно рассматривать в качестве "высокого целевого уровня".

53. Во многих регионах мира в скотоводстве основной акцент делается на системах пастбищного или частично пастбищного содержания животных. В таких системах трава и ее производные с высоким содержанием протеина составляют значительную часть рациона, и целевых значений содержания СП, которые указаны в таблице 3, возможно, будет трудно достичь, учитывая высокое содержание сырого протеина в траве культурных пастбищ. Содержание СП в свежей траве в период выпаса (2 000–2 500 кг СВ на га) часто колеблется в пределах от 18% до 20% (или даже выше, особенно при добавке бобовых культур); содержание сырого протеина в силосе часто колеблется от 16% до 18%, а содержание СП в сене находится на уровне 12–15% (например, Whitehead, 2000). Для сравнения содержание СП в кукурузном силосе составляет только около 7–8%. Поэтому травяные корма часто содержат избыток протеина, а в результате этого величина интенсивного выделения N сильно зависит от пропорций травы, травяного силоса и сена в рационе и от содержания протеина в этих кормах. Избыток протеина и последующие выделения N и потери NH₃ будут самыми высокими для летних рационов, основанных на одной траве (или траве в смеси с бобовыми культурами) при выпасе на молодой, интенсивной удобренной траве или смеси травы с бобовыми культурами. Однако моча, выделяемая животными на выпасе, обычно просачивается в почву до того, как могут произойти значительные выбросы NH₃, а поэтому общие выбросы NH₃ на одно животное меньше у животных на выпасе, чем у животных на стойловом содержании, когда экскременты собираются, хранятся и затем вносятся в почву

54. Снижение выбросов NH₃, достигнутое путем увеличения того периода, в течение которого животные находятся на выпасе, зависит от базового значения (выбросы животными в помещении), от продолжительности выпаса и от содержания N в удобрениях, внесенных на пастбище. Возможность увеличить продолжительность выпаса часто ограничена типом почв, рельефом местности, размером хозяйства и его структурой (расстояниями), климатическими условиями и т.д. Следует отметить, что выпас животных может привести к увеличению выбросов N в других формах (например, вымывание N нитратов и выбросы N₂O). Однако, учитывая четко и ясно пересчитанное в количественных показателях влияние на выбросы NH₃ увеличение периода, в течение которого животные **находятся на выпасе целый день, можно рассматривать как стратегию снижения выбросов категории 1**, зависящую от продолжительности выпаса (см. также пункты 52, 184 и 185). Реальный потенциал снижения выбросов зависит от базовой ситуации в животноводстве в каждой отдельной стране. Эффект от изменения периода неполного стойлового содержания (например, выпас только в дневное время) менее достоверен и относится к стратегии категории 2. Переход от полностью стойлового содержания к выпасу в течение части дня менее эффективен для снижения выбросов NH₃, чем переход на круглосуточное пастбищное содержание животных, так как загрязненные здания и хранилища по-прежнему остаются источником выбросов NH₃. Трудно ожидать, что системы пастбищного содержания (загонный выпас, ротационный выпас, постоянный выпас) окажут значительное дополнительное воздействие на потери NH₃, а поэтому этот метод относится к стратегии категории 3.

55. В целом повышение энергопротеинового соотношения в рационе за счет использования трав (с большей высотой травостоя) или кормовых злаков из валков и/или дополнение травы высококалорийными кормами (например, силосом кукурузы), является стратегией категории 1. Однако при системах скотоводства, в основу которых положено пастбищное содержание, осуществимость этих технологий может быть затруднено, так как более старая трава может ухудшить качество кормов, особенно когда получение высококалорийных кор-

мов происходит в неблагоприятных условиях (например, в жарком климате), и поэтому их приходится покупать. Следовательно, не может быть гарантировано полное использование преимуществ выращивания трав (в условиях ограниченного производства, например, наличия квот на молоко или ограничений по плотности поголовья). Поэтому улучшение белково-энергетического равновесия в хозяйствах с пастбищным содержанием животных, но не имеющих возможности заготавливать высокоэнергетические корма, рассматривается как стратегия категории 2.

Технологии кормления свиней, включенные в категорию 1

56. Меры, связанные с кормлением свиней, включают фазовое кормление, составление рационов, основанных на комбинации легко усваиваемых и доступных питательных веществ, использование низкопротеиновых и дополненных аминокислотами рационов, использование кормовых добавок. Все они рассматриваются как методы категории 1. В настоящее время проводятся исследования других методов, которые могут стать доступными в будущем, (например, разные корма для самцов (хряков и боровов) и для свиноматок).

57. Содержание СП в рационе свиней может быть снижено, если оптимизировать обеспеченность аминокислотами путем добавления синтетических аминокислот (например, лизина, метионина, треонина, триптофана) или специальных кормовых компонентов, руководствуясь самой последней информацией об "идеальном протеине" в сочетании с разными добавками в рационе.

58. В зависимости от производственной группы свиней и текущей отправной точки можно добиться снижения СП в корме на 2–3%. В таблице 4 представлен полученный диапазон содержания сырого протеина в рационе. Значения, указанные в таблице, являются ориентировочными целевыми уровнями и, возможно, их придется адаптировать к местным условиям. Было доказано, что снижение сырого протеина в рационе свиней на заключительной стадии откорма на 1% приводит к 10-процентному снижению содержания общего азота аммиака (ОАА) в свином навозе и 10-процентному снижению выбросов NH_3 (Canh et al., 1998b).

Таблица 4

Ориентировочные целевые показатели СП в кормовых рационах свиней

<i>Виды</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание СП (%)^a</i>
Отъемыши	<10 кг	19–21
Поросята	<25 кг	17–19
Свиньи на откорме	25–50 кг	15–17
	50–110 кг	14–15
	>110 кг	12–13
Свиноматки	Супоросные	13–15
	Подсосные	15–17

Источник: На основе БРЕФ-НИМ Европейской комиссии, 2003 год.

^a При условии поступления правильно сбалансированных и оптимально усваиваемых аминокислот. Значения, приведенные в таблице, могут рассматриваться как "средний-высокий целевой уровень" (более подробную информацию о целевых уровнях содержания сырого протеина см. в приложении II).

Технологии кормления птицы, включенные в категорию 1

59. Что касается птицы, то потенциал снижения выделений N путем принятия мер по кормлению более ограничен, чем для свиней, так как к настоящему времени уже достигнута высокая средняя эффективность конверсии, а изменчивость в пределах стада птиц больше. Снижения СП на 1–2% (10–20 г/кг корма) обычно можно достичь в зависимости от породы и текущего отправного корма. В таблице 5 представлен полученный диапазон значений содержания СП в рационе. Значения в таблице являются ориентировочными целевыми уровнями, которые, возможно, будет необходимо адаптировать к местным условиям. Дальнейшие прикладные исследования рационов питания в настоящее время проводятся в странах – членах ЕС и в Северной Америке и, возможно, они будут способствовать в будущем снижению выбросов аммиака. Снижение содержания СП на 1–2% является мерой категории 1 для молодняка и птицы на заключительной стадии откорма.

Таблица 5

Ориентировочные целевые показатели СП в корме для птицы

Виды	Фазы	Содержание СП (%) ^a
Цыплята-бройлеры	Стартовый период откорма	20–22
	Период роста	19–21
	Завершающий период откорма	18–20
Куры-несушки	18–40 недель	15,5–6,5
	40+ недель	14,5–15,5
Индейки	<4 недели	24–27
	5–8 недель	22–24
	9–12 недель	19–21
	13+ недель	16–19
	16+ недель	14–17

Источник: На основе БРЕФ-НИМ Европейской комиссии, 2003 год.

^a При правильно сбалансированном и оптимальном поступлении аминокислот. Значения, приведенные в таблице, могут рассматриваться как "средний–высокий целевой уровень" (более подробную информацию о целевых уровнях содержания СП см. в приложении II).

V. Содержание сельскохозяйственных животных

A. Системы содержания молочного и мясного скота

60. Методы сокращения выбросов NH₃ из помещений для КРС основываются на одном или нескольких нижеперечисленных принципах:

- a) уменьшение площади поверхности, загрязненной навозом;
- b) абсорбция или адсорбция подстилкой (например, соломой);
- c) быстрое удаление мочи; быстрое разделение кала и мочи;
- d) снижение скорости потоков и температуры воздуха над навозом, за исключением сушки навоза;

- e) снижение температуры навоза;
- f) уменьшение загрязненной площади в помещениях и местах постоянного нахождения животных за счет более продолжительного выгула;
- g) очистка воздуха, т.е. удаление из воздуха NH_3 путем принудительной вентиляции в сочетании с воздушными скрубберами.

61. При применении мер по сокращению выбросов из помещений для скота, важно минимизировать потери содержащегося в навозе NH_3 по всей цепочке утилизации навоза, его хранения и внесения, чтобы максимально увеличить выгоду от снижения затрат на сокращение выбросов.

62. Системы содержания КРС различаются в пределах региона ЕЭК ООН. Хотя беспривязное содержание является наиболее распространенной практикой, крупный рогатый скот в некоторых странах все еще содержится на привязи. При беспривязном содержании все или часть экскрементов собираются в (полу) жидкой форме. В системах, где образуется твердый навоз (например, при содержании на соломенной подстилке), он может ежедневно удаляться из помещения или оставаться в нем в течение целого сезона, например, при содержании на глубокой подстилке. Наиболее подробно исследованы беспривязно-боксовые коровники для молочных коров, где выбросы NH_3 происходят с загрязненных щелевых и/или сплошных полов, а также из навоза в ямах и каналах навозоудаления, расположенных под решетками/полом.

63. *Базовая система:* Содержание в беспривязно-боксовых коровниках принимается в качестве базовой системы содержания КРС (таблица 6). Крупный рогатый скот, который содержится на привязи, выделяет меньше NH_3 , чем животные на беспривязном содержании, так как экскрементами и мочой загрязняется меньше площади пола. Однако привязное содержание не рекомендуется по соображениям благополучия животных за исключением случаев, когда оно сопровождается ежедневными выгулами. Привязная система содержания является традиционной базовой системой, обеспечивающей преемственность инвентаризации выбросов.

64. *Соблюдение принципов благополучия животных* приводит к увеличению площади загрязненной зоны, где могут перемещаться животные, в расчете на голову, к увеличению воздухообмена, возможно, к понижению зимних температур, и в целом к увеличению выбросов. Поэтому изменения в проектах зданий в соответствии с новыми требованиями законодательства в области благополучия животных в некоторых странах (например, переход от привязного к беспривязному содержанию) увеличат выбросы NH_3 , если при этом не принимаются меры по борьбе с этим увеличением. Реконструкция или новое строительство с целью соблюдения требований к благополучию животных предоставляют хорошую возможность для одновременной реализации мер по снижению выбросов NH_3 , сокращая тем самым затраты на меры, связанные с реконструкцией.

65. *Сравнение систем содержания с образованием твердого навоза и систем с образованием жидкого навоза.* В системах содержания КРС на соломенной подстилке с образованием твердого навоза выделяется не меньше NH_3 , чем в системах с образованием полужидкого навоза. Кроме того, потери закиси азота (N_2O) и двухатомного азота (N_2) из-за (де)нитрификации обычно бывают больше в системах подстилочного содержания, чем в системах с образованием жидкого навоза. Хотя твердый подстилочный навоз может дать меньше выбросов NH_3 , чем жидкий навоз после его поверхностного внесения на поля (например, Powel et al., 2008a), жидкий навоз предоставляет больше возможностей для применения машин с низким уровнем выбросов для внесения навоза. Физиче-

ское разделение экскрементов (содержащих уреазу) и мочи в системе содержания уменьшает степень гидролиза мочевины, а это приводит к снижению выбросов как из помещений для животных, так и при внесении навоза (Burton, 2007; Fanguiro et al., 2008a, 2008b; Moller et al., 2007). При подтверждении эффективности любых величин снижения выбросов NH_3 в системах с образованием твердого навоза по сравнению с системами с образованием жидкого навоза и при разделении навоза на твердую и жидкую фракции следует принимать во внимание все стадии выбросов (содержание животных, хранение и внесение навоза на поля).

Методы категории 1

66. Система "рифленого пола" для содержания молочного и мясного скота, в которой используются "зубчатые" скребки, движущиеся по рифленому полу – надежный метод сокращения выбросов NH_3 . Углубления должны быть снабжены отверстиями для стока мочи. Это позволяет получить чистый, низкоэмиссионный пол с хорошим сцеплением для предотвращения скольжения животных. Сокращение выбросов NH_3 колеблется в пределах от 25% до 46% по сравнению с базовой системой (Smits, 1998; Swierstra, Bram and Smits, 2001).

67. В зданиях с традиционным шелевым полом (без уклона, или с уклоном 1% или с рифленным полом), оптимальной системой микроклимата и теплоизоляции крыши (ТК) и/или автоматически регулируемой системой естественной вентиляции (АРСЕВ) можно добиться умеренного сокращения выбросов (20%) за счет снижения температуры (особенно летом) и скорости воздухообмена (Braam et al., 1997a; 1997b; Smits, 1998; Monteny, 2000).

68. Уменьшение количества экскрементов животных в системах содержания путем увеличения продолжительности выпаса является эффективной мерой сокращения выбросов NH_3 . Хотя выбросы при выпасе увеличатся, выбросы из помещений для животных уменьшатся значительно больше, при условии обеспечения чистоты поверхностей в помещении в то время, когда животные находятся на выпасе. Общий объем выбросов в год (из помещений для животных, при хранении и внесении навоза) в хозяйствах молочного направления может сократиться до 50% при почти круглосуточном выпасе (Bracher et al., предстоящая публикация) по сравнению с полностью привязным содержанием. Хотя продление выпаса является надежной мерой сокращения выбросов молочными коровами, уровень сокращения выбросов зависит от продолжительности ежедневного выпаса и от чистоты коровника и блоков содержания. Выпас относится к методам категории 1, если животные пасутся весь день или если навозом ежедневно загрязняется очень небольшая площадь пола. Выпас продолжительностью менее 18 часов в день следует отнести к категории 2 из-за неточностей пересчета в количественные показатели выбросов. В ряде случаев выпас может увеличивать вымывание или загрязнение поверхностных вод патогенными организмами и биогенными веществами (см. также пункты 40, 184 и 185).

Методы категории 2

69. В Нидерландах были апробированы различные улучшенные типы полов, на основе шелевых или сплошных профилированных бетонных элементов. Эти технические решения сочетают уменьшение выбросов с пола (увеличение стока мочи) и из канала (сокращение воздухообмена за счет резиновых шиберов в щелях пола). Эффективность уменьшения выбросов зависит от конкретных технических особенностей системы. Поэтому эта мера относится к категории 2 и не включается в таблицу 6.

70. *Подстилочный материал* в помещениях для животных может оказывать влияние на выбросы NH_3 . При определении выбросов NH_3 с пола коровников физические характеристики (способность поглощать мочу, объемная плотность) подстилки более значимы, чем ее химические характеристики (рН, емкость катионного обмена, соотношение углерода и азота) (Misselbrook and Powell, 2005; 2008a; Gillespy et al. 2009). Однако влияние подстилки на выбросы в отдельных системах нуждаются в дальнейшей оценке с учетом всей цепочки утилизации навоза.

71. *Химические или кислотные скрубберы*, хотя и являются эффективными средствами сокращения выбросов NH_3 из принудительно вентилируемых помещений, они не могут, как правило, использоваться в помещениях для содержания КРС, которые во всем регионе ЕЭК ООН по большей части проветриваются естественным образом. Поскольку имеется немного данных о применении этих скрубберов в коровниках, в настоящее время их относят к методам категории 2 (Ellen et al., 2008).

Методы категории 3

72. *Скребок и смывные системы*. Был опробован ряд систем для регулярного удаления жидкого навоза с пола в закрытое внешнее навозохранилище, расположенное вне здания. В этих системах применяется смывание водой, кислотой, разбавленным или механически разделенным жидким навозом или скребки с или без разбрызгивателей воды. В целом эти системы оказались неэффективными или слишком требовательными в эксплуатации. Использование гладких полов и /или полов с уклоном для облегчения очистки скребками или смывания способствует скольжению, которое наносит большой вред здоровью коров. Поэтому эти системы рассматриваются как методы категории 3.

Таблица 6

Выбросы аммиака в различных системах содержания КРС (базовые системы и методы категорий 1 и 2)

Тип помещения для содержания КРС	Сокращение (%)	Выбросы ^a NH_3 (кг/скотоместо/год)
Беспривязный боксовый коровник (базовая система)	н.п.	12,0 ^b
Привязное содержание ^c (традиционная базовая система)	н.п.	4,8
Рифленый пол (кат. 1)	25–46	9,0
Оптимальная система обеспечения микроклимата с теплоизоляцией крыши (кат. 1)	20	9,6
Химические воздушные скрубберы (только для систем с принудительной вентиляцией) (кат. 2)	70–90	1,2
Выпас 12 час/24 час (кат. 2), по отношению к базовой кат. 1	10	10,8 ^d
Выпас 18 час/24 час (кат. 1) по отношению к базовой кат. 1	30	8,4 ^d
Выпас 22 час/24 час (кат. 1) по отношению к базовой кат. 1	50	6,0 ^d

Сокращение: н.п. = не применимо.

^a Выбросы при постоянном привязном содержании.

^b При зоне выгула 4–4,5 м² в расчете на голову и постоянном стойловом содержании.

^c Привязное содержание не рекомендуется по соображениям благополучия животных. Эти системы являются традиционными базовыми системы для преемственности инвентаризации выбросов.

^d Эти значения получены при выпасе в течение всего сезона (предположительно около 200 дней). Они показывают относительное сокращение годовых выбросов по сравнению с базовой системой без выпаса. При выпасе в течение части дня необходимо всегда поддерживать поверхности коровника в чистоте.

В. Системы содержания свиней

73. *Базовая система:* В качестве базовых приняты выбросы из свинарников с полностью щелевым полом и подпольным хранилищем, хотя в некоторых странах эти системы запрещены по соображениям благополучия животных.

74. Технические решения по сокращению выбросов NH_3 из свинарников подробно описаны в БРЕФ-НИМ Европейской комиссии (2003) и опираются на следующие принципы:

a) сокращение поверхностей, загрязненных навозом, таких как поверхность полов, поверхность каналов для удаления жидкого навоза с наклонными стенками. Частично щелевые полы (~50% площади) в целом выделяют меньше NH_3 , особенно если полосы металлические или с пластиковым покрытием, а не бетонные, что позволяет навозу быстро и полностью сползать в заглубленные навозосборники. Выбросы со сплошных полов сокращаются за счет наклонных, гладких поверхностей путем размещения оборудования для кормления и поения таким образом, чтобы минимизировать загрязнение полов, а также путем создания надлежащего микроклимата в помещении;

b) частая очистка канала для удаления жидкого навоза во внешнее хранилище с помощью вакуумных или самотечных систем или смывом по меньшей мере дважды в неделю;

c) дополнительная обработка, например разделение на жидкую и твердую фракции;

d) рециркуляция подземных вод в плавающих теплообменниках для охлаждения поверхности навоза в заглубленном навозосборнике по меньшей мере до 12 °C. Ограничения включают затраты и необходимость использовать источники подземных вод вдали от источников питьевой воды;

e) изменение химических/физических свойств навоза, например, снижение показателя pH;

f) использование материалов с гладкой и удобной для уборки поверхностью (см. подпункт a) выше);

g) очистка отводимого воздуха с помощью кислотных скрубберов или капельных биофильтров;

h) снижение температуры и скорости воздухообмена в помещениях с учетом благополучия и продуктивности животных, особенно зимой;

i) уменьшение потока воздуха над поверхностью навоза.

75. При одинаковой ширине навоз стекает с бетонных полос менее эффективно, чем с полос с металлическим и пластиковым покрытием, а это влечет за собой увеличение выбросов NH_3 . Следует отметить, что стальные полосы запрещены в некоторых странах по соображениям благополучия животных.

76. Это перекрестное воздействие разных сред принимается во внимание при определении наилучших имеющихся методов (НИМ) проектирования животноводческих помещений. Так, частый смыв жидкого навоза (как правило, один раз утром и один раз вечером) вызывает появление неприятного запаха. Кроме того, при смыве жидкого навоза расходуется энергия, за исключением тех случаев, когда используются пассивные системы, управляемые вручную.

77. Предполагается, что использование соломы для содержания свиней будет возрастать по соображениям благополучия животных. В сочетании с (автоматическими) системами естественной вентиляции солома позволяет животным самим регулировать свою температуру при менее интенсивной работе систем вентиляции и отопления, что сокращает потребление энергии. В системах подстилочного содержания станок иногда делится на зону со сплошным полом и подстилкой и зону со щелевым полом для сбора навоза. Однако свиньи не всегда используют эти зоны желаемым образом, предпочитая зону с подстилкой для испражнений, а щелевую зону для охлаждения в жаркую погоду. В целом станки должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить желаемое поведение свиней при испражнении для минимизации загрязнения сплошных полов. Это труднее осуществить в регионах с теплым климатом. Следует отметить, что комплексная оценка использования соломы должна включать дополнительные расходы на солому и чистку станков, возможное увеличение выбросов при хранении и внесении навоза с соломой и выгоду от добавления в почву органического вещества.

78. *Базовый метод для свиней на доращивании/откорме:* Базовая система, обычно используемая в Европе, – это полностью щелевой пол с глубоким навозосборником и механической вентиляцией; выбросы колеблются от 2,4 до 3,2 кг NH₃ на скотоместо в год. Поскольку свиньи на доращивании/откорме всегда содержатся группами, большинство систем, используемых для группового содержания свиноматок, применимы и для свиней на доращивании.

79. *Базовый метод для подсосных свиноматок:* Опоросившихся свиноматок в Европе обычно размещают в станках со стальным или пластиковым решетчатым полом и углубленным навозосборником. В большинстве помещений свобода передвижения свиноматок ограничивается, в то время как поросята могут свободно перемещаться. Все помещения оснащаются регулируемой вентиляцией и часто имеют обогреваемую зону для содержания поросят в течение первых нескольких дней после опороса. Различие между полностью и частично щелевыми полами не столь значимо для подсосных свиноматок, как для свиней на доращивании, поскольку свиноматки ограничены в передвижении и испражняются только в зоне щелевого пола. Поэтому методы сокращения выбросов нацелены на модификацию навозосборника.

80. *Базовый метод для холостых и супоросных свиноматок:* Базовая система содержания холостых и супоросных свиноматок – это полностью щелевой пол (с бетонными полосами) и с углубленным навозосборником. В настоящее время холостые и супоросные свиноматки содержатся индивидуально или группами. Повсюду в ЕС групповое содержание обязательно для вновь построенных свинарников, а начиная с 2013 года, все холостые и супоросные свиноматки должны будут содержаться группами в течение четырех недель после оплодотворения. Системы группового содержания требуют установки специальных систем кормления (например, электронных кормушек для свиноматок или открытых станков), а конструкторское решение станка должно стимулировать свиней к испражнению и отдыху в определенных зонах. Групповое содержание имеет такой же уровень выбросов, как и индивидуальное содержание (Groenestein et al.,

2001), и здесь могут использоваться аналогичные методы сокращения выбросов.

81. *Базовый метод содержания поросят-отъемышей*: Отъемыши содержатся группой либо в обычных станках, либо в приподнятых клетках (ярусных клетках). Поскольку при этом применяется один и тот же метод удаления навоза, предполагается, что меры по сокращения выбросов, применимые к обычным станкам для отъемышей, могут также применяться к ярусным клеткам.

82. В таблице 7 обобщаются технические решения и методы сокращения выбросов, включая предполагаемые эффективность и затраты для всех классов свиарников. Предполагаемые затраты колеблются в широких пределах в зависимости от конкретных условий в хозяйстве, размеров свиарников. Следует отметить, что некоторые методы сопряжены с большими затратами на применение в существующих зданиях. Информацию об материальных затратах на низкоэмиссионные методы и стратегии можно найти у Reis (предстоящая публикация).

83. Исследование, проведенное в 2007 году, показало, что полные затраты на сокращение выбросов NH_3 из систем содержания свиней в основном с помощью воздушных скрубберов в Нидерландах составили в среднем 0,016 евро на кг произведенной свинины (Baltussen et al., 2010). В момент проведения исследования только крупные (Директива о комплексном предотвращении и контроле загрязнений) хозяйства уже внедрили технологии, сокращающие выбросы на целевые 40–60% (из совмещенных систем содержания животных и хранения навоза). Однако было подсчитано, что в 2013 году затраты возрастут до 0,04 евро на кг свинины, когда даже небольшим свинофермам в Нидерландах придется соблюдать стандарты по выбросам и благополучию животных. Если предположить, что с одного скотоместа получают 200 кг мяса в год, стоимость сокращения выбросов NH_3 и мер по обеспечению благополучия животных составит 7,2 евро на скотоместо или 3 евро за кг снижения выбросов $\text{NH}_3\text{-N}$; обе эти оценки считаются в Нидерландах надежными. В оценках не учитывают тот факт, что часть сохраненного NH_3 может быть потеряна в последующей цепочке утилизации навоза.

84. Различные системы сокращения выбросов, указанные в пунктах 80–90, основываются на перечисленных в пункте 69 принципах.

Методы категории 1

85. Выбросы аммиака могут быть сокращены на 25% за счет уменьшения площади, с которой происходят выбросы, путем частого и полного удаления самотеком жидкого навоза со дна канала навозоудаления. Там, где это выполнимо, метод не требует никаких затрат.

86. Частично щелевой пол, составляющий 50% площади пола, в целом выделяет на 15–20% меньше NH_3 , особенно если полосы металлические или покрыты пластиком, к которым навоз прилипает меньше, чем к бетону. Снижение риска выбросов со сплошной части пола может быть достигнуто за счет использования наклонной (или выпуклой) гладкой поверхности, соответствующего размещения оборудования для кормления и поения, чтобы свести к минимуму загрязнение зоны сплошного пола, а также за счет хорошей организации микроклимата (Aarnink et al., 1996; Guigand и Courboulay, 2007; Ye et al., 2008a, 2008b).

87. Дальнейшее сокращение площади выбросов может достигаться за счет уменьшения площади как частично щелевого пола, так и расположенной под ним навозной ванны. При уменьшении щелевой площади риск увеличения загрязнения сплошного пола может быть снижен за счет устройства второй небольшой щелевой зоны с водосливным каналом внизу в другом торце станка, где свиньи питаются и пьют. Канал заполняется водой примерно на 2 см для разбавления любого попадающего туда навоза. Выбросы с этого щелевого участка будут небольшими, так как любой оставленный здесь навоз будет разбавляться. Эта комбинированная система навозного и водосливного каналов может сократить выбросы NH_3 на 40–50% в зависимости от размера водосточного канала.

88. Сокращение площади выбросов путем наклона одной или двух стенок канала в сочетании с частично щелевым полом и частым удалением навоза может сократить выбросы на 65%.

89. Сокращение площади выбросов за счет мелких V-образных лотков (максимальная ширина 60 см, глубина 20 см), может сократить выбросы в свинарниках на 40% до 65% в зависимости от категории свиней и наличия частично щелевого пола. Лотки следует промывать два раза в день жидкой (разжиженной) фракцией навоза, а не водой; смыв водой разбавляет навоз и увеличивает расходы на его транспортировку.

90. Для подсосных свиноматок сокращение выбросов на 65% может быть достигнуто за счет сокращения площади выбросов посредством устройства ванны (поддона) под щелевым полом станка. Ванна представляет собой второй пол с уклоном (по меньшей мере, 3°) со стоком для навоза в самой нижней точке. Несмотря на то, что поддон может быть оборудован в уже построенном здании, на практике реконструкция системы навозоудаления может оказаться очень дорогой.

91. Сокращение выбросов NH_3 может быть также достигнуто за счет подкисления жидкого навоза для сдвига химического баланса от NH_3 в сторону NH_4^+ . Навоз (особенно его жидкая фракция) собирается в резервуар с подкисляющей жидкостью), поддерживающей pH ниже 6 (обычно это серная кислота, хотя могут использоваться и органические кислоты). При содержании поросят наблюдалось сокращение выбросов на 60%.

92. Поверхностное охлаждение навоза теплоотводящими радиаторами замкнутой теплообменной системы относится к методам категории 1 с эффективностью сокращения выбросов 45–75% в зависимости от категории животных и охлаждающей поверхности радиатора. Этот метод является самым экономичным, если отобранное тепло использовать для обогрева других объектов, например, станков для отъемышей (Huynh et al., 2004). В системах содержания с образованием жидкого навоза этот метод может использоваться в уже построенных помещениях. Эта система не применима при использовании соломенной подстилки или грубых кормов, так как на поверхности жидкого навоза может образоваться слой плавающих отходов.

93. Очистка отводимого воздуха кислотными скрубберами (главным образом серной кислотой) или капельными биофильтрами доказала свою практичность и эффективность в крупных хозяйствах Дании, Германии, Франции и Нидерландов, а поэтому отнесена к категории 1 (например, Melse и Ogink, 2005, Guinand, 2009). Этот метод наиболее экономичен при установке в новых зданиях, поскольку их установка в существующих помещениях требует затратной модификации систем вентиляции. Продемонстрированная эффективность уда-

ления аммиака кислотными скрубберами составила 70–90% в зависимости от установленных показателей pH. Скрубберы и капельные биофильтры также подавляют неприятный запах и уменьшают выбросы дисперсных частиц соответственно на 75% и 70% (Guinand, 2009). Для выяснения возможности применения этих систем в Южной и Центральной Европе требуется дополнительная информация. Эксплуатационные затраты как на кислотные скрубберы, так и капельные фильтры особенно зависят от потребления дополнительной энергии на рециркуляцию воды и преодоление увеличенного противодействия вентиляторов. Существуют оптимальные методы минимизации расходов (Melse, Hofschereuder and Ogink, 2012), причем в крупных хозяйствах затраты будут ниже.

Методы категории 2

94. Плавающие шарики в навозных каналах могут сократить выбросы на 25% за счет частичного покрытия поверхности, с которой происходят выбросы. Навоз, падая на шарики, заставляет их поворачиваться, и за счет своей слабой адгезии они поворачиваются чистой стороной вверх. Этот метод может использоваться в существующих зданиях. Поскольку метод не был апробирован за пределами Нидерландов, его относят к категории 2.

95. Для частого удаления навоза из помещений может использоваться V-образный ленточный транспортер, установленный под щелевым полом. Форма ленты обеспечивает непрерывный сток мочи, способствуя ее отделению от фермента уреазы, содержащегося в фекалиях, и минимизируя таким образом преобразование (гидролиз) мочевины в NH_3 . Благодаря быстрому удалению и уменьшению образования NH_3 , выбросы NH_3 снижаются примерно на 70% (Aarnink et al., 2007). Следует отметить, что этот метод не требует никакого приямка, что частично компенсирует расходы на строительство. Кроме того, при разделении навоза может быть обеспечено эффективное внесение P и N в почву. Систему с V-образным ленточным транспортером относят к методам категории 2, так как она была апробирована только в Нидерландах. Она перспективна для использования при содержании свиней всех категорий, хотя была опробована только в отношении свиней на откорме.

Таблица 7

Методы категорий 1 и 2: уровень сокращения выбросов и затраты на низкоэмиссионные системы содержания свиней

Методы категории 1 (если только не отнесены кат. 2)	Выбросы NH_3 (кг NH_3 / скотоме- сто/год)		Сокращение выбросов (%)	Дополнитель- ные расходы (евро/ скотоме- сто/год) ^a	Дополнитель- ные расходы (евро/кг сни- жения выбро- сов NH_3 -N)
	4,20				
Супоросные свиноматки	4,20				
Частое удаление навоза с помощью самосплавной системы			25	0 ^b	0 ^b
Смывные желоба			40	33	23
Охлаждение поверхности навоза			45	19	12
(Групповое) содержание с кормовыми станциями и навозным каналом с наклонными стенками			45	16	10
Плавающие шарики на поверхности навоза (кат. 2)			25	14	16
Очистка воздуха скрубберами			70–90	22–30	8–10

<i>Методы категории 1 (если только не отнесены кат. 2)</i>	<i>Выбросы NH₃ (кг NH₃/ скотоме- сто/год)</i>	<i>Сокращение выбросов (%)</i>	<i>Дополнитель- ные расходы (евро/ скотоме- сто/год)^a</i>	<i>Дополнитель- ные расходы (евро/кг сни- жения выбро- сов NH₃-N)</i>
Подсосные свиноматки	8,30			
Водосливный и навозный канал		50	2	0,5
Навозосборная ванна под полом		65	40–45	9
Охлаждение поверхности навоза		45	45	15
Плавающие шарики на поверхности навоза (кат. 2)		25	14	8
Очистка воздуха скрубберами		70–90	35–50	7–10
Поросята-отъемыши	0,65			
Частично щелевые полы с уменьшенной навозосборной ванной		25–35	0	0
Частое удаление навоза с помощью самосплавной системы		25	0 ^b	0 ^b
Частично щелевые полы и смывные желоба		65	5	14
Частично щелевые полы и сбор в подкисленную жидкость		60	5	15
Частично щелевые полы и охлаждение поверхности навоза		75	3–4	7–10
Частично щелевые полы и навозный канал с наклонными стенками		65	2	5–6
Плавающие шарики на поверхности навоза (кат. 2)		25	1	6–7
Очистка воздуха скрубберами		70–90	4–5	8–12
Свиньи на доразивании и откорме	3,0			
Частично щелевые полы с уменьшенной навозосборной ванной		15–20	0	0
Частое удаление навоза с помощью самосплавной системы		25	0 ^b	0 ^b
Частично щелевые полы с водосливным и навозным каналом		40	2	2
Частично щелевые полы с водосливным и навозным каналом с наклонными стенками		60–65	3–5	2–3
Смывные желоба		40	10–15	10–15
Частично щелевые полы и охлаждение поверхности навоза		45	5–7	4–6
Плавающие шарики на поверхности навоза (кат. 2)		25	2	4
Частично щелевые полы и раздельное удаление жидкой и твердой фракций навоза с помощью V-образного ленточного транспортера (кат. 2)		70	0–5	0–3
Очистка воздуха скрубберами		70–90	10–15	5–9

Примечание: Информацию об экономических затратах на методы сокращения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a Цены подсчитаны для новых зданий. В существующих зданиях можно устанавливать только системы охлаждения, применять плавающие шарики, а также устанавливать скрубберы (см. текст с пояснениями относительно модернизации).

^b Если уже установлена вакуумная система удаления навоза.

С. Системы содержания птицы

96. Технические решения по сокращению выбросов NH_3 из систем содержания птицы основываются на следующих принципах:

- a) уменьшение поверхности помета, с которой происходят выбросы;
- b) частое удаление помета во внешнее хранилище жидкого помета (например, с помощью ленточного транспортера);
- c) быстрая сушка помета;
- d) использование гладких и легко очищаемых поверхностей;
- e) очистка удаляемого воздуха кислотными скрубберами или капельными биофильтрами;
- f) понижение температуры внутри помещений и их вентиляция в той мере, насколько это позволяют требования благополучия и/или производства.

1. Системы содержания кур-несушек

97. При оценке систем содержания кур-несушек в государствах – членах Европейского союза (ЕС) необходимо учитывать требования, прописанные Директивой 1999/74/ЕС Европейского совета, устанавливающей минимальные стандарты по защите кур-несушек (ЕС, 1999) от 19 июля 1999 года. Эта директива запрещает использование обычных систем клеточного содержания к 2012 году. Вместо этого разрешены только улучшенные клетки (также называемые клетками улучшенной конструкции), или системы бесклеточного содержания, например на подстилке (или глубокой подстилке) или в вольере.

98. *Базовая система для обычного клеточного содержания.* В этой системе используется открытые короба для сбора помета, расположенные под клеточными батареями. Несмотря на запрет ЕС с 2012 года, в некоторых государствах ЕЭК ООН куры-несушки все еще содержатся в обычных клетках, и в большинстве докладов о сокращении выбросов NH_3 этот способ содержания принимается в качестве базового. Данная система по-прежнему считается базовой для сохранения приемственности инвентаризации выбросов.

99. *Базовая система для птичников с "улучшенными" клетками.* Эта система может заменить обычные клетки, не требуя значительной реконструкции существующего здания. Улучшенные клетки обеспечивают курам-несушкам больше пространства, включая зоны для гнездования, стачивания когтей и установки насестов. Птицы содержатся группами по 40–60 голов. Самый обычный метод удаления помета – (вентилируемый) ленточный транспортер, расположенный под клетками. Меры по снижению выбросов при содержании птицы в улучшенных клетках представлены в отдельной таблице, поскольку базовой системой является не система с обычными клетками, а система содержания в улучшенных клетках с расположенным под ними ленточным транспортером для регулярного удаления помета без сушки. В Нидерландах и Германии улучшенные клетки запрещены по соображениям благополучия птицы, вместо этого применяют групповое содержание (Kleingruppenhaltung). Отличие от улучшенных клеток заключается в увеличении производственной площади в расчете на голову, повышении высоты клетки и более четко определенных зонах с подстилкой и гнездами. Ellen и Ogink (2009) обосновали допустимость применения тех же коэффициентов выбросов NH_3 , что и для улучшенных клеток.

100. *Базовая система для бесклеточного содержания: Глубокое помехранилище в сочетании с частично покрытым подстилкой полом.* Здание обычно оборудуется пометосборником глубиной 80–90 см, покрытого деревянными или пластиковыми решетками или проволочной сеткой. Помет собирается в пометосборниках, расположенных под решетками, которые занимают две трети площади пола. Оставшаяся треть площади пола покрыта подстилкой, например, песком, древесной стружкой или соломой, и используется для стачивания когтей и купания в пыли. Плотность содержания в таких зданиях составляет до 9 кур на м² площади пола.

101. *Система напольного содержания (на насестах).* Здание разделено на различные функциональные зоны, используемые для кормления и поения, откладывания яиц, стачивания когтей и для отдыха; пол покрывается подстилкой. Площадь доступной поверхности увеличивается за счет приподнятых планчатых полов в сочетании с ярусами, что обеспечивает плотность содержания до 18 кур на м² площади пола. Аналогично клеточному содержанию при напольном содержании для сбора помета применяются ленточные транспортеры, размещенные под ярусами; вентилируемые ленточные транспортеры могут устанавливаться для сбора, сушки и удаления подстилки.

102. В некоторых странах под понятием "свободный выгул" понимается система содержания с глубоким накопителем помета, с полом, частично покрытым подстилкой (или глубокой подстилкой), или вольерную систему с использованием выгула на внешних выгульных площадках. В странах, где "выгульные" куры содержатся на сплошном или частично щелевом полу, площадь сплошного пола покрывается подстилкой, а куры имеют ограниченный доступ к наружной территории. Помет накапливается либо на сплошном полу, либо под планчатой зоной в течение 14-месячного периода кладки яиц.

Методы категории 1

103. Выбросы NH₃ из глубокого пометосборника под клеточной батареей или из канальной системы могут быть сокращены за счет снижения влажности помета путем вентилирования отстойника для помета.

104. Сбор помета ленточными транспортерами с последующим его удалением во внешнее крытое хранилище также может сократить выбросы NH₃, особенно если помет был высушен на ленточных транспортерах с помощью принудительной вентиляции. Чтобы максимально уменьшить образование NH₃, помет необходимо высушивать до 60–70% содержания сухого вещества. Помет, поступающий с ленточных транспортеров в активно вентилируемые туннельные сушилки, расположенные внутри или снаружи здания, может быть высушен до 60–80% содержания СВ менее чем за 48 часов, хотя в этом случае время выдержки на воздухе и уровень выбросов увеличиваются. Ежедневное удаление помета ленточными транспортерами в крытое хранилище сокращает выбросы на 50% по сравнению с удалением один раз в две недели. В целом выбросы из помещений для содержания кур-несушек, оснащенных ленточными транспортерами для удаления помета, зависят от: а) времени, в течение которого помет находится на лентах; б) систем сушки; в) породы птицы; г) интенсивности воздухообмена на ленте (низкий воздухообмен = большие выбросы); и е) состава корма. Системы напольного содержания, оснащенные ленточными транспортерами для частого сбора и удаления помета в крытое хранилище, сокращают выбросы более чем на 70% по сравнению с системами содержания на глубокой подстилке.

105. Очистка отводимого воздуха кислотными скрубберами или капельными биофильтрами успешно применялись в нескольких странах (Melse and Ogink, 2005; Ritz and others, 2006; Patterson and Adrizal, 2005; Melse, Hofschreuder and Ogink, 2012). Кислотные скрубберы удаляют 70–90% NH_3 , а биоскрубберы – 70%; причем и те и другие удаляют также мелкодисперсную пыль и неприятный запах. Для решения проблемы высоких пылевых нагрузок были разработаны многоступенчатые воздушные скрубберы с предварительной фильтрацией грубодисперсных частиц (Ogink and Bosma, 2007; Melse et al., 2008). Однако некоторые Стороны Конвенции относят этот метод к категории 2 из-за проблемы пылевой нагрузки.

106. Методы сокращения выбросов при содержании птицы в обычных клетках обобщаются в таблице 8, при содержании птицы в улучшенных клетках – в таблице 9, и при бесклеточном содержании – в таблице 10.

Методы категории 2

107. Регулярное добавление к подстилке сульфата алюминия (квасцов) при бесклеточном содержании птицы уменьшает выбросы NH_3 из зданий на 70%, а также понижает концентрацию NH_3 и дисперсных частиц ($\text{PM}_{2,5}$) в помещениях, повышая, таким образом, продуктивность. Квасцы также сокращают потери от вымывания фосфора из внесенного в почву помета. Исследования, проведенные в США, показывают, что выгоды от обработки квасцами в два раза превышают затраты, но, поскольку еще не получен опыт в других странах, этот метод относят к категории 2.

Таблица 8

Системы клеточного содержания кур-несушек (базовая система): методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH_3

Категория 1	кг NH_3 / год/место	Сокращение выбросов NH_3 (%)	Дополнитель-	Затраты
			ные расходы (евро/ место/год)	
Обычные клетки, невентилируемое открытое помехохранилище под клетками (базовый метод)	0,1–0,2	–	–	–
Обычные клетки, вентилируемое открытое помехохранилище под клетками для сушки помета	–	30	–	0–3
Обычные клетки, быстрое удаление помета ленточными транспортерами в крытое помехохранилище	–	50–80	–	0–5
Очистка отводимого воздуха ^a	–	70–90	–	1–4

Примечание: Информацию о материальных затратах на методы снижения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a При использовании кислотных скрубберов можно сократить выбросы на 70–90%, а при использовании биотенков – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

Таблица 9
**Системы содержания кур-несушек в улучшенных клетках:
 методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃**

Категория 1	Сокращение кг NH ₃ / год/место	Сокращение выбросов NH ₃ (%)	Дополнитель- ные расходы (евро/ место/год)	Затраты (евро/кг сокращения NH ₃ -N/год)
Ленточные транспортеры, удаление дважды в неделю (<i>базовый метод</i>)	0,05–0,1	–	–	–
Вентилируемые ленточные транспортеры, удаление дважды в неделю ^a	–	30–40	0	0
Вентилируемые ленточные транспортеры, удаление чаще, чем дважды в неделю	–	35–45	–	0–3
Очистка отводимого воздуха ^b	–	70–90	–	2–5

Примечание: Информацию о материальных затратах на методы снижения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a Уровень сокращения зависит от мощности сушильного вентилятора.

^b При использовании кислотных скрубберов можно сократить выбросы на 70–90%, а при использовании биотенков – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

Таблица 10
**Бесклеточные системы содержания кур-несушек:
 методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃**

Методы категорий 1 и 2	Сокращение кг NH ₃ / год/место	Сокращение выбросов NH ₃ (%)	Дополнитель- ные расходы (евро/ место/год)	Затраты (евро/кг сокращения NH ₃ -N/год)
Глубокая подстилка или глубокое помехранилище с частичной подстилкой (<i>базовый метод</i>)	0,3	–	–	–
Вольеры, насесты, невентилируемые ленточные транспортеры для удаления помета (кат. 1)	–	70–85	–	1–5
Вольеры, вентиляруемые ленточные транспортеры для удаления помета (кат. 1)	–	80–95	–	1–7
Очистка отводимого воздуха ^a	–	70–90	–	6–9
Подстилка, частично планчатый пол, ленточные транспортеры для удаления помета (кат. 2)	–	75	–	3–5
Подстилка с принудительной сушкой помета (кат. 2)	–	40–60	–	1–5
Регулярное добавление к подстилке сульфата алюминия (кат. 2)	–	70	–	?

Примечание: Информацию о материальных затратах на методы снижения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a При использовании кислотных скрубберов можно сократить выбросы на 70–90%, а при использовании биотенков – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

2. Системы содержания бройлеров

108. *Базовая система содержания бройлеров:* Базовой системой содержания бройлеров является традиционно используемое в Европе здание со сплошным, полностью покрытым подстилкой полом.

109. Чтобы минимизировать выбросы NH_3 при содержании бройлеров, важно сохранять подстилку сухой. На влажность подстилки и выбросы влияют:

- a) технические решения и функционирование системы поения (утечка и расплескивание воды);
- b) вес птицы, плотность содержания и продолжительность периода выращивания;
- c) интенсивность воздухообмена, очистка внутреннего воздуха, внешние климатические условия;
- d) теплоизоляция пола;
- e) вид и количество подстилки;
- f) корм.

Методы категории 1

110. *Уменьшение расплескивания воды из системы поения:* Простым способом уменьшения расплескивания воды из системы поения является использование ниппельных, а не чашечных поилок.

111. *Воздушные скрубберы* очень эффективны для удаления NH_3 из вентиляционного воздуха, но не применяются широко из-за высокой стоимости. Современные насадочные фильтры и кислотные скрубберы, применяемые в Нидерландах и Германии, удаляют 70–90% NH_3 из отводимого воздуха. Вопросы продолжительности бесперебойной работы в условиях высокой пылевой нагрузки побудили некоторые Стороны Конвенции отнести этот метод только к кат. 2. Были разработаны различные скрубберы, обеспечивающие очистку удаляемого воздуха от многих загрязняющих веществ одновременно с удалением запаха и дисперсных частиц (PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$) (Zhao and others, 2011; Ritz and others, 2006; Patterson and Adrizal, 2005).

Методы категории 2

112. *Принудительная сушка:* Эффективное сокращение выбросов можно достичь за счет принудительной сушки, хотя существующие системы отличаются высокой энергоемкостью и могут увеличить выбросы пыли. Однако некоторая экономия расходов на отопление может быть получена благодаря улучшению теплообмена.

113. *Система Комбидек (Combideck):* Данная система состоит из теплообменников, установленных в бетонном полу: в начале периода откорма пол нагревается для сушки подстилки, а позднее в период откорма охлаждается для снижения микробной активности, что препятствует разложению мочевой кислоты. Поскольку эффективность этого метода зависит от местных условий, он отнесен к категории 2.

114. Использование добавок (сульфата алюминия, микроорганизмов) может сократить выбросы NH_3 , привести к более высокому содержанию СВ в помете и сократить падеж птицы (Aubert et al., 2011), но полученные результаты либо

противоречивы (например, McCrogy and Hobbs, 2001), либо получены только в одной стране (как в случае с квасцами).

Таблица 11

Система содержания бройлеров: методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃

Методы категорий 1 и 2	Сокращение кг NH ₃ / год/место	Сокращение выбросов NH ₃ (%)	Дополнитель- ные расходы (евро/ место/год)	Затраты (евро/кг снижения NH ₃ -N/год)
Глубокая подстилка; вентилируемое помещение (<i>базовый метод</i>)	0,080	–	–	–
Помещение с естественной вентиляцией или утепленное помещение с принудительной вентиляцией и с полностью покрытым подстилкой полом, оснащенное герметичной системой поения (кат. 1)	–	20–30	–	–
Подстилка с принудительной сушкой помета с использованием воздуха из птичника (кат. 1)	–	40–60	–	2–4
Очистка отводимого воздуха скрубберами (кат. 1) ^a	–	70–90	–	10–15
Многоярусные клеточные батареи и принудительная воздушная сушка (кат. 2)	–	90	–	?
Съемные многоярусные стенки; принудительная воздушная сушка (кат. 2)	–	90	–	?
Система "Комбидек" (кат. 2)	–	40	–	6

Примечание: Данные о материальных затратах на низкоэмиссионные системы содержания немногочисленны, в том числе по той причине, что в настоящее время на практике пока еще применяется немного таких систем. Информацию о материальных затратах на методы снижения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a При использовании кислотных скрубберов можно сократить выбросы на 70–90%, а при использовании биотенков – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

3. Системы содержания индеек и уток

115. *Базовая система содержания индеек:* Базовой системой содержания индеек на откорме является традиционно используемое в Европе закрытое здание со сплошным, полностью покрытым подстилкой полом и теплоизоляцией, принудительной вентиляцией (как для бройлеров) или здания с естественной вентиляцией и открытыми боковыми стенами. Помет удаляется в конце каждого периода выращивания. Выбросы NH₃ при полностью покрытом подстилкой полом составляют 0,680 кг NH₃-N на птицеместо в год. В большинстве стран региона ЕЭК ООН содержание индеек относится к незначительным источникам выбросов NH₃.

116. *Базовая система содержания уток:* Базовой системой содержания уток является традиционное здание, подобное тому, в каком содержатся бройлеры. При содержании уток, разводимых на мясо, образуется полужидкий помет, а уток, разводимых на "фуа-гра" образуется твердый помет. К прочим системам содержания уток на откорме относятся частично щелевой/частично покрытый

подстилкой пол и полностью щелевой пол. Как и индейки, содержание уток не является крупным источником NH_3 в регионе ЕЭК ООН.

117. Методы сокращения выбросов NH_3 , используемые при содержании бройлеров, могут применяться в помещениях для содержания индеек и уток. Однако, за исключением скрубберов, эффективность методов будет ниже, чем при содержании бройлеров, из-за большего количества помета и более высокого содержания СВ в подстилке. В Нидерландах эффективность методов считается в два раза меньше, чем при содержании бройлеров. Поскольку при содержании уток помещения оборудуются емкостями с водой (по соображениям благополучия водоплавающих птиц), их эффективность может быть еще ниже. Поэтому эти методы относят к категории 2.

VI. Методы хранения навоза

118. *Базовый метод:* При оценке эффективности мер сокращения выбросов из хранилища за базовые принимаются выбросы из хранилища аналогичного типа без какого-либо покрытия поверхности. Базовые выбросы, принятые равными 1,4 и 2,7 кг $\text{NH}_3\text{-N}$ на m^2 в год, получены на основе данных западноевропейских стран; там, где навоз при хранении замораживается на несколько месяцев, может наблюдаться более низкий уровень выбросов, а в теплых странах – более высокий. Поскольку исходные данные ограничены, Сторонам Конвенции предлагается определить соответствующие базовые уровни выбросов, исходя из своих условий. В таблице 12 обобщаются данные о различных мерах по сокращению выбросов из хранилищ жидкого навоза и об их эффективности снижения выбросов NH_3 .

119. После удаления из животноводческих помещений жидкий навоз в большинстве случаев хранится либо в бетонных и стальных емкостях, либо в обвалованных лагунах. Лагуны обычно имеют большее соотношение площади поверхности к объему, чем емкости. По последним данным в больших лагунах происходит интенсивная естественная химическая денитрификация отчасти под воздействием ветра. Выбросы из хранилищ жидкого навоза могут сокращаться за счет уменьшения воздушных потоков над поверхностью путем плотного или плавающего покрытия, формирования поверхностной корки или за счет увеличения глубины хранилищ, чтобы снизить отношение площади поверхности к объему хранилища. Уменьшение площади поверхности рассматривается только для новых помещений. Сопутствующие выгоды: плотные покрытия (и навесы) предотвращают заполнение хранилища дождевыми осадками, таким образом, его вместимость легче прогнозировать, а при меньшем количестве воды сокращаются расходы на транспортировку навоза; покрытия ослабляют неприятный запах, и большинство из них сокращают выбросы парниковых газов, хотя в определенных условиях соломенное покрытие может увеличить выбросы N_2O ; сокращение соотношения поверхности к объему обычно дает аналогичные сопутствующие выгоды.

120. Для длительного хранения сухого птичьего помета (например, при содержании бройлеров) следует использовать помещение или здание с герметичным полом и с достаточной вентиляцией, чтобы помет оставался сухим, а дальнейшие потери NH_3 были сведены к минимуму.

121. Важно минимизировать также возможные потери NH_3 при внесении в почву жидкого и твердого навоза из крытых хранилищ, иначе преимущества крытого хранилища "испарятся" как NH_3 .

Методы категории 1

122. *"Плотная" герметичная крышка, кровля или тент:* Зарекомендовавший себя наилучшим образом и наиболее практичный метод сокращения выбросов из жидкого навоза, хранящегося в резервуарах или башенных хранилищах, заключается в том, чтобы снабжать их плотной крышкой, кровлей или тентом. Хотя такие покрытия должны быть достаточно непроницаемыми или герметичными для минимизации воздухообмена, следует обеспечивать некоторую вентиляцию, чтобы не допускать скопления горючих газов, особенно метана. Возможность устройства этих конструкций в существующих хранилищах зависит от конструкционной прочности хранилищ и их способности выдержать дополнительную нагрузку при реконструкции.

123. *Плавающее покрытие:* В качестве плавающего покрытия может использоваться пластик, брезент, геотекстиль или другой подходящий материал. Этот метод относится к категории I только при использовании небольших обвалованных лагун. Плавающие покрытия трудно применить в емкостях, особенно имеющих высокие стенки, из-за значительных перемещений по вертикали, которые необходимы для заполнения и опорожнения резервуара.

124. *Мешки для хранения* подходят для сокращения выбросов из жидкого навоза на небольших фермах (например, <150 свиней на откорме); следует отметить, что затраты на эту меру включает затраты как на конструкцию хранилища, так и на покрытие.

125. *Образование естественной корки:* Минимизация перемешивания хранящегося жидкого навоза КРС и некоторых видов свиного навоза (в зависимости от рациона свиней и содержания сухого вещества в жидком навозе) и добавление новой партии навоза ниже уровня поверхности обеспечат увеличение естественной корки. Если корка достаточно толстая и полностью покрывает поверхность навоза, она может значительно сократить выбросы NH_3 при небольших или нулевых затратах. Эффективность сокращения выбросов зависит от свойств и периода существования корки (Misselbrook, et al., 2005; Smith et al., 2007). Сокращение выбросов за счет естественной корки пригодно только в хозяйствах, которым не требуется частое перемешивание навоза для частого внесения, и где имеется навоз, который образует корку.

126. Для покрытия хранилищ свиного навоза, не образующего корки, или хранилищ сброженного осадка метантенков можно легко применять керамзитовые шарики ("LECA") или гексагональную плавающую плитку "Hexa-cover". В недавнем обзоре методов сокращения выбросов (van der Zaag et al., 2012) предлагается отнести эти покрытия к категории 1, поскольку их применение не связано с многими характерными для листовых покрытий проблемами, в частности со скапливанием воды и появлением разрывов у них. Кроме того, они просты в применении.

127. *Замена лагун емкостями/башенными хранилищами:* Если заменить мелкие лагуны с обваловкой более глубокими резервуарами или башенными хранилищами, выбросы будут пропорционально сокращены за счет уменьшения площади поверхности на единицу объема. Эта мера могла бы стать эффективным (хотя и дорогостоящим) вариантом сокращения выбросов NH_3 , особенно если резервуары покрыты крышкой, кровлей или тентом (методы категории 1). Сложно дать количественную оценку экономической эффективности этого варианта, поскольку она в значительной степени определяется характеристиками лагуны и емкости. В башенных конструкциях перемешивание навоза затруднено.

Таблица 12
**Меры по сокращению выбросов аммиака из хранилищ навоза КРС
и свиного навоза**

Меры по сокращению выбросов	Сокращение выбросов NH ₃ , (%)	Применимость	Дополнительные	
			Затраты (ТЕКРАСХ) (евро на сокращения м ³ /год) ^a	расходы (евро/кг NH ₃ -N) ^a
Хранение без покрытия и корки (базовый метод)	0		–	–
Герметичная крышка, кровля или тент (кат. 1) ^b	80	Бетонные или стальные резервуары и башенные хранилища. Могут не подходить для существующих хранилищ.	2–4	1,0–2,5
Пластиковая пленка ^b (плавающее покрытие) (кат. 1)	60	Небольшие лагуны с обваловкой.	1,5–3	0,6–1,3
Создание условий для образования естественной корки путем сокращения перемешивания и добавления нового навоза ниже уровня поверхности (плавающее покрытие) (кат. 1)	40	Только для жидкого навоза с повышенным содержанием волокнистых фракций. Не применимо в хозяйствах, где требуется частое перемешивание и повреждение корки для частого внесения жидкого навоза. Корка не может образовываться на свином навозе в холодном климате.	0	0
Замена лагуны и т.д. закрытой емкостью или высокими открытыми резервуарами (глубина >3 м) (кат. 1)	30–60	Только новое строительство с учетом всех планировочных ограничений, касающихся объектов большой высоты.	15 (около 50% стоимости емкости)	–
Навозные мешки (кат. 1)	100	Имеющиеся размеры мешков могут ограничить их применение в крупных животноводческих хозяйствах.	2,50 (включая стоимость хранилища)	–
Плавающие керамзитовые шарики, плавающая шестиугольная плитка, Неха-Covers (кат. 1)	60	Не пригодны для навозов, образующих корку.	1–4	1–5
Пластиковая пленка (плавающее покрытие) (кат. 2) ^b (плавающее покрытие) (кат. 2)	60	Большие лагуны с обваловкой и бетонные или стальные емкости. Обслуживание и другие факторы могут затруднить применение этого метода.	1,50–3	0,5–1,3
"Низкотехнологичные" плавающие покрытия (например, резаная солома, торф, кора и т.д.) (кат. 2)	40	Бетонные или стальные резервуары и башенные хранилища. Вероятно, не пригодны для больших лагун с обваловкой. Неприменимы, если используемые материалы могут затруднить утилизацию с навозом.	1,50–2,50	0,3–0,9

Примечание: Информацию о материальных затратах на методы снижения выбросов см. в работе Reis (предстоящая публикация).

^a Рассчитано для хранилищ свиного навоза объемом от 500 до 5 000 м³ в умеренных климатических условиях в Центральной Европе. В качестве базового метода взят навоз без корки.

^b В качестве пленочного покрытия могут использоваться пластик, брезент и другие подходящие материалы.

Методы категории 2

128. *Плавающие покрытия (для хранилищ помимо небольших лагун с обваловкой):* Существует ряд плавающих покрытий, изготовленных из проницаемых и непроницаемых материалов, которые могут сокращать выбросы NH₃ из хранящегося навоза путем ограничения контакта между навозом и воздухом. Однако эффективность и практичность этих покрытий все еще точно не установлены (за исключением пластиковой пленки, прошедшей многочисленные испытания в небольших лагунах с обваловкой), и, вероятно, меняются в зависимости от эксплуатации и других факторов. Примерами могут служить пластиковая пленка, резаная солома, торф. Непроницаемые плавающие покрытия требуют вентиляции и мер по удалению дождевой воды, которая скапливается на их поверхности. Проницаемые плавающие покрытия должны быть тщательно защищены от ветра, и оба типа покрытий должны быть рассчитаны на вертикальные перемещения в процессе заполнения и опорожнения хранилища. Срок службы плавающих покрытий недостаточно проверен. Плавающие покрытия могут препятствовать гомогенизации навозной жижи перед внесением и затруднять сам процесс внесения. Эта проблема требует особого внимания и оптимизации.

129. *Покрытие для хранилищ стойлового (твердого) навоза:* Существует несколько вариантов сокращения выбросов NH₃ при хранении стойлового (твердого) навоза КРС и свиней. Испытания показали, что накрытие куч навоза пластиковой пленкой может существенно сократить выбросы NH₃ и не сопровождается значительным увеличением выбросов метана или закиси азота (Chadwick, 2005; Hansen, Henriksen and Sommer, 2006). В настоящее время этот метод относят к категории 2 в связи с необходимостью более основательной проверки его эффективности сокращения выбросов и практичности.

VII. Методы внесения навоза

130. *Базовая технология.* Под базовой технологией внесения навоза понимается распределение необработанного жидкого или твердого навоза по всей поверхности почвы ("внесение разбрасыванием") без последующей заделки и без целенаправленного выбора времени внесения для минимизации потерь NH₃. Например, для жидкого навоза типичным будет использование цистерны, оборудованной насадкой с отражателем. Для твердого навоза базовой ситуацией является оставление навоза на поверхности почвы без заделки.

131. Выбросы NH₃ при использовании базового метода, пересчитанные в процентах от общего аммонийного азота (ОАА), как правило, колеблются в пределах 40–60% (хотя выбросы, превышающие указанные показатели, также нередкость). Величина эмиссии изменяется в зависимости от состава жидкого или твердого навоза и преобладающих почвенно-климатических условий. Выбросы NH₃ в процентах от внесенного ОАА обычно снижаются с уменьшением эвапотранспирации (температура воздуха, скорость ветра, солнечное излучение) и содержания СВ в жидком навозе. Выбросы NH₃ в процентах от внесенного

ОАА обычно уменьшаются с увеличением: содержания ОАА и норм внесения. Выбросы из различных видов навоза будут также различаться. Кроме того, выбросы зависят от свойств почвы, определяющих ее водопроницаемость. Например, хорошо дренированные, имеющие грубую текстуру и сухие почвы с высокой водопроницаемостью, усиливают сокращение эмиссии по сравнению с влажными и плотными почвами с низкой водопроницаемостью (Søgaard et al., 2002). Однако некоторые слишком сухие почвы могут превратиться в водонепроницаемые, что также может уменьшить инфильтрацию, и тем самым содействовать увеличению эмиссии.

132. *Условия, обеспечивающие эффективность методов снижения выбросов.* Выбросы изменяются в зависимости от состава жидкого и твердого навоза, и преобладающих почвенно-климатических условий. Эффективность методов сокращения выбросов по сравнению с базовыми выбросами также варьируется в зависимости от указанных факторов. В связи с этим в таблице 14 приводятся усредненные показатели, которые были получены в ходе многих исследований, проведенных в разных странах в разнообразных условиях окружающей среды. Величина выбросов NH_3 при базовом методе, выраженная в абсолютных показателях, меняется во времени и в региональном масштабе под воздействием изменяющихся экологических условий. Поскольку при использовании низкоэмиссионных вариантов эти факторы также влияют на абсолютную величину эмиссии NH_3 , сопоставимыми являются относительные уровни выбросов; по этой причине преимущества низкоэмиссионных подходов выражены в процентной доли выбросов эмиссии по сравнению с базовыми показателями.

133. Методы категории 1 предусматривают использование оборудования, существенно снижающего площадь открытой поверхности навоза в ходе поверхностного внесения навоза или заделывания жидкого или твердого навоза путем инъекции или заделки в почву. Материальные затраты на применение этих методов колеблются в пределах от 0,1 до 5 евро на кг снижения выбросов $\text{NH}_3\text{-N}$; при этом наименьшие расходы отмечаются в процессе немедленной заделки жидкого или твердого навоза там, где это выполнимо (т.е. на свободной пахотной земле). Оценочные показатели сильно зависят от общего размера сельскохозяйственного предприятия; экономия от масштабов производства существенно возрастает на более крупных предприятиях, там, где низкоэмиссионное оборудование используется совместно несколькими хозяйствами, или там, где привлекаются специалисты-подрядчики. В категорию 1 включены следующие методы:

- a) ленточное разбрасывание жидкого навоза по поверхности почвы с использованием гибких шланговых систем или прицепных сошников;
- b) инжекторное внесение жидкого навоза в открытые борозды;
- c) инжекторное внесение жидкого навоза в закрытые борозды;
- d) заделка поверхностно внесенного твердого и жидкого навоза в почву;
- e) разбавление жидкого навоза при внесении как минимум на 50% с помощью систем полива низкого давления.

134. В таблице 13 и в таблице 14 приводятся усредненные показатели эффективности методов сокращения выбросов NH_3 категории 1 в сравнении с базовым уровнем и экономические показатели каждого метода в сравнении с базовым уровнем соответственно для жидкого и твердого навоза.

Таблица 13
**Методы сокращения выбросов категории 1 при внесении
 в почву жидкого навоза⁸**

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)^a</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость в сравнении с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг снижения NH₃/год)</i>
a) i) Ленточное внесение жидкого навоза с помощью гибких шланговых систем	Пахотные земли/ пастбища	30–35	Густой растительный покров снижает уровень выбросов в зависимости внесения и степени загрязнения травостоя.	Мало применимо при уклоне >15%. Может использоваться при сплошном узкорядном посеве, а широкозахватная техника может двигаться по постоянным колеям.	-0,5–1,5 (следует отметить, что затраты могут быть сокращены при использовании техники местной конструкции и производства)
a) ii) Ленточное разбрасывание с помощью прицепных сошников	Пахотные земли/ пастбища (предпосевное внесение) и пропашные культуры	30–60	Густой растительный покров снижает уровень в зависимости от точности внесения и степени загрязнения травостоя.	Не применимо при сплошном узкорядном посеве в период роста, но может применяться на розеточной стадии и для пропашных культур.	-0,5–1,5
b) Инжекторное внесение жидкого навоза (открытые борозды)	Пастбища	70	Глубина внесения ≤5 см.	Не применимо при уклоне >15%; на засоренных камнями почвах; на маломощных почвах; на глинистых почвах (>35%) при очень сухой погоде; на торфяных почвах (содержание органического вещества >25%); на дренированных почвах, подверженных вымыванию.	-0,5–1,5
c) Инжекторное внесение жидкого навоза (закрытые борозды)	Пахотные земли/ пастбища	80% (неглубокие борозды 5–10 см) 90% (глубокое внесение >15см)	Эффективное закрытие борозд.	Не применимо при уклоне >15%; на засоренных камнями почвах; на маломощных почвах; на глинистых почвах (>35%) при очень сухой погоде; на торфяных почвах (содержание органического вещества >25%); на дренированных почвах, подверженных вымыванию.	-0,5–1,2

⁸ Под жидким навозом понимается текучий навоз, обычно содержащий менее 12% СВ. Материал с более высоким содержанием СВ или материал, содержащий большое количество волокнистых растительных остатков, может потребовать для его внесения в качестве жидкого навоза предварительной обработки (измельчения или добавления воды), а в других случаях с ним следует обращаться как с твердым навозом (см. таблицу 15). Затраты предполагают умеренное или интенсивное использование оборудования. Там, где соответствующее оборудование используется мало, расходы на единицу сокращения N могут быть более высокими.

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)^a</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость в сравнении с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг снижения NH₃/год)</i>
d) Заделка поверхностно внесенного навоза	Пахотные земли	Немедленная заделка			-0,5–1,0
		= 90%			
		Немедленная заделка в почву без переворота пласта (например, дискованием)			-0,5–1,0
		= 70%			
		Заделка в течение 4 часов = 45–65%	Эффективность зависит от метода внесения и погодных условий в период между внесением и заделкой.	Эффективность зависит от метода внесения и погодных условий в период между внесением и заделкой.	-0,5–1,0
		Заделка в течение 24 часов = 30%	Эффективность зависит от метода внесения и погодных условий в период между внесением и заделкой.	Эффективность зависит от метода внесения и погодных условий в период между внесением и заделкой.	0–2,0
e) Интенсивное разбавление жидкого навоза от >4% сухого вещества до <2% с использованием оросительных систем	Пахотные земли/ пастбища	30	Сокращение выбросов пропорционально кратности разбавления. Для сокращения выбросов на 30% необходимо снизить содержание сухого вещества на 50%.	Применение ограничено поливными системами низкого давления (не для систем высокого давления). Не подходит там, где не требуется полив.	-0,5–1,0

Примечание: Меры по сокращению выбросов относятся к методам категории 1, перечисленным в пункте 133.

^a Средние значения сокращения выбросов, признанные достижимыми в регионе ЕЭК ООН. Широкий разброс значений отражает разницу в методах, обращении, погодных условиях и т.д.

Таблица 14

Методы сокращения выбросов категории 1 при внесении в почву твердого навоза⁹

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)^a</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость по сравнению с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг сокращения NH₃/год)</i>
Заделка поверхностно внесенного навоза	Пахотные земли	Немедленная заделка = 90%	Степень заглубления навоза	–	-0,5–1,0

⁹ Под твердым навозом понимается нетекучий навоз, обычно содержащий более 12% СВ.

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)^a</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость по сравнению с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг сокращения NH₃/год)</i>
		Немедленная заделка в почву без переверота пласта = 60%	Степень заглубления навоза	–	0–1,5
		Заделка через четыре часа = 45–65%	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	0–1,5
		Заделка в течение 12 часов = 50%	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	0,5–2,0
		Заделка в течение 24 часов = 30%	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	Степень заглубления навоза. Эффективность зависит от времени суток при внесении и погодных условий в период между внесением и заделкой.	0,5–2,0

^a Средние значения сокращения выбросов, признанные достижимыми в регионе ЭЭК ООН.

135. Эффективность методов, указанных в подпунктах а)–с), распространяется на почвы, тип и свойства которых обеспечивают проницаемость для жидкостей и удовлетворительные условия для прохождения техники.

136. В таблицах 13 и 14 также обобщаются ограничения, которые должны приниматься во внимание при рассмотрении применимости конкретного метода. К таким факторам относятся тип и свойства почвы (глубина слоя почвы, засоренность камнями, влажность, условия для движения техники); топографические особенности (уклон, размер поля, ровность поверхности); тип и состав навоза (жидкий или твердый навоз). Некоторые методы применяются более широко, чем другие. Дополнительные расходы будут незначительными, если вспашка или боронование почвы требуются в любом случае, но для уменьшения выбросов их необходимо осуществлять сразу же после внесения, а это может потребовать дополнительных ресурсов.

137. Методы, указанные в подпунктах а)–с), эффективны при условии, что площадь поверхности жидкого навоза, подвергающаяся воздействию преобладающих погодных условий, сокращается по меньшей мере на 75% путем внесения жидкого навоза в ленты/полосы, расположенные на расстоянии приблизительно 250 (+/–100) мм друг от друга. Жидкий навоз распределяется через несколько относительно узких трубок (обычно диаметром 40–50 мм). В таких машинах обычно совмещаются функции фильтрования, измельчения и гомогенизации жидкого навоза, что сокращает возможность засорения узких трубок, вызванного очень вязким свойством самого навоза или содержанием в нем

большого количества волокнистых материалов или посторонних предметов, например, камней. Системы ленточного внесения и инжекторные системы обычно крепятся к задней части цистерн с навозом, которые или буксируются трактором, или являются частью самоходных машин. Другим вариантом является размещение системы внесения непосредственно на задней навеске трактора с подачей жидкого навоза через "пуповинный" шланг, из стационарной цистерны или хранилища. Такие 'пуповинные' системы позволяют снижать нагрузку на почву, которую оказывают тяжелые цистерны с жидким навозом.

138. Ленточное внесение жидкого навоза на поверхность почвы или выше уровня ее поверхности. Ленточное внесение на поверхность почвы или выше уровня ее поверхности может быть выполнено с использованием приспособлений, обычно называемых "гибкими шлангами" (также известных как "буксируемые шланги" или "падающие, свисающие шланги") и распределителями для внесения жидких удобрений – сошниками (также известными как "буксируемая лапа" или "санный полоз"). Системы с сошниками и системы с гибкими шлангами отличаются друг от друга наличием (у системы с сошниками) или отсутствием (у системы со шлангами) "башмака" или "лапы" на выходе каждого сопла для распределения и внесения жидкого навоза, который скользит (или "плывет") по поверхности почвы с небольшим заглублением или без него. Шланг или сошник предназначаются для того, чтобы раздвигать травостой или имеющиеся пожнивные остатки и обеспечивать попадание жидкого навоза непосредственно на поверхность почвы. Как указывается в большинстве источников (Webb et al., 2010), большая эффективность скользящих "башмаков" достигается за счет внесения навоза на более узкие полосы, путем достижения лучшего контакта с почвой и меньшего контакта с живым или мертвым растительным материалом, который лучше раздвигается сошником, чем шлангом, даже если шланг расположен очень близко к почве. Преимущества сошника перед шлангом наиболее заметны в процессе использования на высоком растительном покрове за счет снижения степени его загрязнения. Обе системы подходят для использования на многих культурах, хотя системы со шлангами имеют меньше ограничений, поскольку они могут быть более широкими, использоваться на растущих сельскохозяйственных культурах без их повреждения и могут устанавливаться на системах,двигающихся по уже проложенным колеям. Обе системы вносят навоз более равномерно и менее восприимчивы к воздействию ветра по сравнению с базовой системой. Они увеличивают период времени, используемый для внесения, и позволяют вносить навоз ближе к границам поля без особого риска загрязнения смежных площадей.

139. Гибкий шланг. Этот метод позволяет вносить жидкий навоз на почву или чуть выше уровня почвы с помощью ряда подвешенных или стелющихся трубок или гибких шлангов, которые либо подвешиваются на небольшом расстоянии (<150 мм) от поверхности почвы, либо стелятся по ее поверхности. Ширина захвата обычно составляет от 6 до 12 м, хотя на рынке имеются и более крупные агрегаты с шириной до 24 м. Возможная ширина захвата (требующая наличия ручного или механического поворотного привода при транспортировке) намного больше, чем для "базовой" системы разбрызгивания с отражателем (6–9 м), что свидетельствует о явном преимуществе шлангового метода. Расстояние между полосами (от центра до центра) обычно составляет 250–350 мм. Метод применим на травах и пропашных культурах и может использоваться с проложенными постоянными колеями. Трубки могут забиваться при высоком содержании в жидком навозе СВ (>7–10%) или крупных твердых включений. Однако засорения труб обычно удается избежать путем включения в агрегат системы измельчения и распределения. Эта система улучшает равномерность

внесения, что повышает использование питательных веществ, но значительно влияет на стоимость и обслуживание системы. Устройство измельчения/распределения часто может быть сконструировано и изготовлено в местных условиях, а это может значительно снизить затраты.

140. **Прицепной сошник.** Этот метод применим, главным образом, к пастбищным и пропашным культурам на ранних стадиях роста или к культурам с большим междурядьем. Рабочая ширина машины обычно ограничена 6–8 метрами, что, как и в базовой системе, недостаточно для практического использования при выращивании смешанных культур, для которых принято использовать систему с постоянными колеями и расстояниями в 12 или 24 м. Метод не рекомендуется при выращивании пропашных культур сплошного сева, на которых действие сошников может приводить к чрезмерному повреждению растений. Листья и стебли трав разделяются при протаскивании узкого сошника или лапы по поверхности почвы, а жидкий навоз вносится в узкие полосы на поверхность почвы. Расстояние между полосами обычно колеблется от 200 до 300 мм. Оптимальное сокращение выбросов аммиака достигается тогда, когда полосы жидкого навоза частично закрываются растительным покровом. Применение этого метода ограничена при высокой каменистости почвы. Большие объемы пожнивных остатков, например, на нераспаханных землях, собираются на сошниках и мешают их работе.

141. Эффективность сокращения выбросов NH_3 при использовании машин с сошниками или гибкими шлангами возрастает в случаях, когда жидкий навоз вносится под хорошо развитый растительный покров, а не на открытую почву, поскольку он предохраняет навоз от воздействия ветра и защищает его от солнечного излучения. В целом более значительное сокращение выбросов NH_3 обычно отмечалось при использовании прицепного сошника по сравнению с использованием гибкого шланга, а это, вероятнее всего, связано с большим загрязнением растительного покрова, возникающим при применении некоторых типов гибких шлангов. Это подчеркивает необходимость избегать загрязнения растительного покрова жидким навозом при использовании любого метода, что также улучшает качество трав.

142. **Инъекция в открытые борозды.** Этот метод предназначен для использования, главным образом, на пастбищах или на пахотных землях с минимальной обработкой почвы до посева. Ножами различной формы или дисковыми сошниками в почве прокладываются вертикальные гнезда глубиной до 50 мм, куда вносится жидкий навоз. Расстояние между гнездами обычно составляет от 200 до 400 мм, а рабочая ширина машины обычно составляет ≤ 6 м. Для обеспечения эффективного сокращения эмиссии NH_3 и повышения доступности N для растений, а также уменьшения повреждения растений глубина внесения должна составлять около 50 мм, а расстояние между наконечниками распределителей машины, используемой для внесения навоза, должно составлять ≤ 300 мм. Кроме того, норма внесения должна быть отрегулирована так, чтобы излишки жидкого навоза не вытекали из открытых гнезд на поверхность. Метод не применим на очень каменистых или на очень маломощных или плотных почвах, где невозможно обеспечить одинаковое проникновение на необходимую рабочую глубину. Метод не может применяться на полях с очень крутым уклоном из-за опасности стока из гнезд. Системы внесения жидкого навоза инжектором требуют применение более мощного трактора по сравнению с оборудованием для поверхностного или ленточного внесения.

143. **Инжекция в закрытые борозды.** Этот метод допускает относительно мелкое (глубина 50–100 мм) или глубокое (150–200 мм) внесение. Жидкий навоз полностью покрывается после внесения путем закрытия борозд прикатывающим катком или нажимными вальцами, расположенными позади стоек инжектора. Более глубокое внесение требуется при больших объемах навоза, чтобы избежать его просачивания на поверхность. Неглубокое внесение в закрытые борозды более эффективно сокращает выбросы NH_3 по сравнению с внесением в открытые борозды. Чтобы получить эту дополнительную выгоду, тип и состояние почвы должны обеспечивать эффективное закрытие борозд. Поэтому этот метод применяется менее широко, чем инжекция в открытые борозды. Некоторые инжекторы для глубокого внесения имеют ряд стоек, оснащенных двусторонними отвалами или "гусиными лапами", для заглубления в почву и попереочного распределения жидкого навоза в почве таким образом, чтобы обеспечить относительно высокие нормы внесения. Расстояние между стойками обычно составляет 250–500 мм, рабочая ширина ≤ 4 м. Несмотря на высокую эффективность сокращения выбросов NH_3 , применимость метода ограничена главным образом предпосевным внесением на пахотных землях и внесением под пропашные культуры с широким интервалом между рядами (например, под кукурузу), в то время как механические повреждения могут снизить урожай пастбищных или твердозерновых полевых культур. Прочие ограничения включают мощность пахотного слоя, содержание глины и засоренность камнями, уклон, необходимость тракторов большой мощности и повышенную опасность вымывания, особенно на почвах с закрытой дренажной системой.

144. **Заделка поверхностно внесенных твердого и жидкого навоза в почву.** Заделка поверхностно внесенных твердого и жидкого навоза в почву с помощью запахивания или неглубокой культивации является эффективным средством уменьшения выбросов NH_3 . Наибольшая эффективность сокращения была достигнута при полной заделке навоза в почву (таблица 15). Запахивание плугами обеспечивает более эффективное сокращение выбросов, чем использование других видов оборудования для неглубокой культивации. Этот метод применим только на пахотных землях. Заделка не применима на многолетних пастбищах, хотя ее можно применять при переводе пастбищ в пахотные земли (например, в севообороте) или при перезалужении пастбищ, хотя потребность в питательных веществах в оба эти периода может быть невысокой. Метод также мало применим к пропашным культурам, выращиваемым с использованием системы минимальной обработки почвы, по сравнению с культурами, выращиваемыми с использованием методов более глубокой обработки почвы. Заделка может производиться только до посева культур. Этот метод является основным методом достижения сокращения выбросов при внесении твердого навоза на пахотных землях, хотя в настоящее время в Северной Америке испытываются новые машины для внесения птичьего помета в дернину трав. Метод также эффективен для внесения жидкого навоза, когда инжекция в закрытые борозды невозможна, не доступна или чревата опасностью вымывания. Культивация также уменьшает макропоры, которые могут способствовать вымыванию. Эффективность этого подхода была подтверждена многими исследованиями, в том числе проведенными в Российской Федерации (Еськов и другие, 2001 год).

145. Потери аммиака происходят вскоре (в течение несколько часов и дней) после разбрасывания навоза по поверхности, поэтому немедленная заделка навоза сразу после разбрасывания способствует значительному сокращению выбросов. При немедленной заделке часто требуется использование второго трактора в тандеме с агрегатом для заделки навоза, который должен двигаться непосредственно за машиной для внесения навоза. Там, где данная возможность ог-

раничивается нехваткой рабочей силы или техники, например, в небольших хозяйствах, навоз должен быть заделан в почву в течение 4 часов после разбрасывания, хотя это сокращает выбросы менее эффективно (таблица 14). Заделка в течение 24 часов после разбрасывания сокращает выбросы еще меньше, но увеличивает агрономическую гибкость, а это может быть особенно важно для небольших предприятий. Особенно важно сразу же приступить к заделке навоз в почву, если он внесен около полудня при жаркой погоде. Разбрасывание и заделка могут осуществляться одной и той же машиной. Это может хорошо рекомендовать себя в том случае, если на поверхности почвы незаделанным остается менее 25% навоза.

146. Разбавление жидкого навоза для использования в системах орошения. Выбросы аммиака из разбавленного жидкого навоза с низким содержанием СВ в целом ниже, чем из неразбавленного навоза в результате более быстрого проникновения в почву (например, Stevens and Laughlin, 1997; Misselbrook and others, 2004). Поэтому дозы жидкого навоза, рассчитанные в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур в питательных веществах, могут добавляться в воду для полива пастбищ или сельскохозяйственных культур, выращиваемых на пахотных землях. Жидкий навоз откачивается из хранилищ, подается в трубопровод с поливной водой и доставляется к разбрызгивателю низкого давления или самоходной поливальной машине (а не к поливальной системе высокого давления), которые распыляют смесь по земле. Нормы разбавления допустимо доводить до соотношения 50:1 (воды к жидкому навозу). Этот подход включен в методы категории 1, поскольку такого интенсивного разбавления как минимум на 50% (1:1 воды к жидкому навозу) для использования в оросительных системах достаточно для сокращения выбросов, по меньшей мере, на 30% в тех случаях, когда есть необходимость в поливе. Если содержание СВ в жидком навозе составляет 4%, его следует разбавлять до $\leq 2\%$ содержания СВ (см. рисунок ниже). Чтобы этот метод можно было отнести к категории 1, необходимо соблюдать следующие условия:

a) для использования в ирригационных системах жидкий навоз активно разбавляется водой до достижения соотношения навоза и воды как минимум 1:1. Наоборот, не допускается, чтобы разбавление жидкого навоза водой происходило просто вследствие ненадлежащего обращения, например из-за хранения навоза в мелких открытых лагунах, в которых скапливается много дождевой воды. Такие хранилища не рекомендуются использовать, поскольку они потенциально являются крупными источниками выбросов, которые сложно ограничивать при помощи покрытий;

b) условия подходят для орошения культур в целях удовлетворения их потребности в воде. Разбавление жидкого навоза без необходимости полива влечет за собой дополнительные затраты на перевозку и может усилить вымывание нитратов;

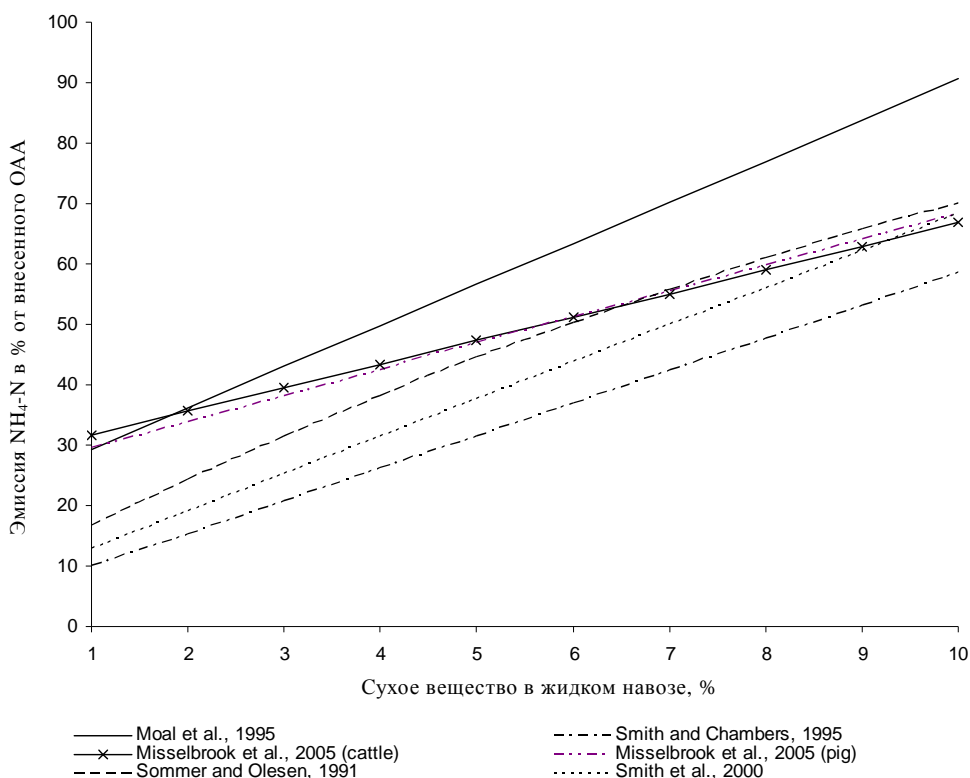
c) норма вносимого жидкого навоза рассчитывается в соответствии с потребностями культур в питательных веществах. Этот метод не следует считать легким способом удаления навоза: необходимо учитывать возможный риск избыточного внесения удобрений и вымывания нитратов или навозных стоков, особенно на полях с уклоном;

d) состояние почвы делает возможным быстрое впитывание разбавленного жидкого навоза благодаря отсутствию каких-либо физических препятствий для инфильтрации, таких как высокая влажность почвы, слабовыраженная структура грунта, тонкозернистость текстуры или другие свойства почвы,

которые снижают ее инфильтрационную способность, при этом не происходит снижения скорости инфильтрации из-за высоких объемов внесения навоза.

147. Помимо специального разбавления жидкого навоза в системах полива для сокращения выбросов NH_3 могут использоваться и другие методы уменьшения содержания СВ в навозе. Они включают уменьшение содержания сухого вещества путем анаэробного сбраживания и разделения твердой и жидкой фракций. Поскольку такие методы проявляют тенденцию к повышению рН, фракций с низким содержанием СВ, а также к образованию осадка с более высоким содержанием СВ, они не включаются в категорию 1. Однако такие методы могут обеспечить полезный подход в группе методов категории 2, когда требуется проверка достоверности сокращения выбросов.

Зависимость между процентной долей общего аммонийного азота (ОАА), выделившегося в форме аммиака во время внесения в почву жидкого навоза, и содержанием сухого вещества (СВ, в % от массы) в жидком навозе, установленная на основе данных шести оценок



Примечание: Хотя выбросы NH_3 по-прежнему остаются высокими при содержании 1% СВ (10–30% потерь ОАА в результате испарения), сокращение содержания СВ на 50% позволит сократить средние выбросы NH_3 на 30%.

148. **Дополнительные выгоды от методов сокращения выбросов NH_3 при внесении в почву жидкого и твердого навоза.** Экспериментальный количественный анализ повышения эффективности использования N в результате сокращения выбросов NH_3 дал неоднозначные результаты (Webb et al., 2010). Отчасти это можно объяснить трудностями, которые сопряжены с любыми попытками выявить достоверную реакцию растений на уменьшение добавок азотных удобрений при относительно высоком уровне минерализации почвенного азота. На практике сокращение эмиссии NH_3 обуславливает сокращение норм внесе-

ния дополнительного N. Хотя усвоение $\text{NH}_3\text{-N}$ растениями будет отличаться, ОАА, который не улетучивается, может рассматриваться как возможный эквивалент химического азотного удобрения. Поэтому величину сокращения потерь NH_3 можно рассматривать как замену внесения химических удобрений в пропорции 1:1.

149. Ленточное и инжекторное внесение, а также быстрая заделка твердого навоза, значительно уменьшают неприятный запах, сопутствующий внесению навоза. Уменьшение неприятного запаха, достигнутое благодаря этим методам, позволяет вносить навоз на площадях или в такое время, когда в противном случае это было бы невозможно из-за протестов населения.

150. Ленточный и инжекторный методы внесения позволяют соблюдать более точные нормы внесения жидкого навоза по сравнению с базовым методом, поскольку жидкий навоз должен равномерно распределяться по трубкам, которые располагаются на равном расстоянии друг от друга по всей ширине захвата рабочего органа. Если делать сравнение, пространственное распределение после внесения навоза разбрасыванием с отражателем (базовая система) часто колеблется в более широких пределах в зависимости от конструкции и состояния блока отражателя. Кроме того, ширина разбрасывания при использовании отражателей может колебаться в значительных пределах (например, под воздействием ветра), что приводит к неполному смыканию соседних щитков отражателей и менее точному внесению вдоль границ поля. Это возможное увеличение точности внесения повышает эффективность жидкого навоза как источника питательных веществ. Повышение точности внесения жидкого навоза также сокращает опасность загрязнения нитратами, фосфором и микробами прилегающих площадей, например, близлежащих водных источников.

151. Возможность применения базового метода (поверхностное внесение жидкого навоза) сдерживается риском ухудшения качества урожая или нанесения ущерба в результате загрязнения продукции навозом. При ленточном и инжекторном внесении навоза снижается степень загрязнения трав и соответственно увеличивается высота растительного покрова, на который можно вносить жидкий навоз без ущерба для качества урожая. Это в первую очередь касается пастбищ, где загрязнение жидким навозом может снизить поедаемость корма, ухудшить качество силоса и способствовать распространению болезнетворных микроорганизмов (например, болезни Джона) между хозяйствами, если навоз или оборудование используются совместно. Эти методы также позволяют вносить жидкий навоз под растущие полевые культуры (особенно зерновые), в отношении которых вообще-то не рекомендуется вносить жидкий навоз разбрызгиванием. Таким образом, использование методов с низким уровнем выбросов может содействовать повышению гибкости управления внесением жидкого навоза, позволяя проводить работы на больших площадях в те дни, когда погодные условия благоприятствуют пониженному испарению NH_3 и оптимальной утилизации N навоза, и когда влажность почвы обеспечивает движение техники с минимальным уплотнением почвы.

152. **Возможные финансовые последствия применения методов сокращения выбросов.** Рост затрат, связанный с закупкой и обслуживанием новой техники для внесения навоза или с привлечением подрядчиков, может воспрепятствовать применению этих методов. Приемы инжекторного внесения навоза также требуют наличия трактора большей мощности, а это еще больше увеличивает затраты на применение этих систем. Такие дополнительные затраты могут частично или полностью компенсироваться финансовыми выгодами от повышения урожайности и ее устойчивости, от сокращения потерь N (умень-

шающего потребность в минеральных удобрениях), более точного снабжения растений N навоза, большей гибкости агрономических приемов и от других сопутствующих выгод, например от уменьшения неприятного запаха и загрязнения урожая, улучшения внешнего вида культур во время и после внесения навоза (Webb et al., 2010). Общее соотношение выгод и затрат особо зависит от стоимости оборудования и эффективности сокращения выбросов.

153. Влияние сокращения потерь аммиака на азотный цикл. При отсутствии на удобренных навозом площадях выращиваемых культур, готовых усвоить легкодоступный N, возрастает риск потерь N вследствие вымывания или в составе газообразного N₂O. Поэтому заделка, и особенно инжекторное внесение навоза, чреваты риском переноса загрязнения воздуха на загрязнение воды, но снижают риск образования поверхностных стоков при последующих осадках. По этой причине при выборе времени внесения жидкого и твердого навоза необходимо сопоставлять возможность низкой эмиссии NH₃ с возможностью потерь по другим каналам, учитывая в то же время периоды, когда растения нуждаются в N. Чтобы избежать общих потерь N, не следует вносить навоз при отсутствии поглощения или очень ограниченном поглощении N растениями. Снижение эмиссии NH₃ вносит важный вклад в общее сокращение потерь N в сельском хозяйстве и, таким образом, максимально увеличивает агрономические выгоды от применения минеральных удобрений. Финансовая выгода от сокращения потребностей в минеральных азотных удобрениях для сельхозпроизводителя дополняется выгодой от сокращения выбросов парниковых газов в региональном масштабе вследствие сокращения потребностей в минеральных удобрениях, поскольку с удобрениями связаны выбросы N₂O из почвы, а производство азотных удобрений сопряжено с высокими энергозатратами.

154. Результаты исследований свидетельствуют о том, что инжекторное внесение жидкого навоза может либо увеличить, либо не оказать никакого воздействия на выбросы N₂O. Было предложено добавлять в жидкий навоз легкоразлагаемый C в качестве агента, ответственного за более значительное увеличение выбросов N₂O, чем можно было бы ожидать вследствие дополнительного поступления N в почву в результате сокращения выбросов NH₃. Такая добавка легкоразлагаемого C в жидкий навоз без значительной аэрации почвы может усилить денитрификацию. Существует ряд причин, в силу которых методы внесения, сокращающие выбросы NH₃, не всегда приводят к увеличению выбросов N₂O, например: а) более глубокая инъекция (>5 см) или заделка вследствие увеличения пути диффузии от места денитрификации до поверхности почвы может привести к увеличению потерь N в виде N₂ вместо N₂O; б) последующее состояние влажности и, соответственно, аэрация почвы не способствует повышенному образованию N₂O; в) в почвах, хорошо обеспеченных как легкоразлагаемым C, так и минеральным N, любое увеличение выбросов N₂O может быть не таким значительным, чтобы оказывать существенное воздействие; г) воздействие погоды на влажность почвы и заполненность водой почвенных пор также влияет на последующие выбросы N₂O. Эти взаимодействия проявляются в том, что уменьшение выбросов NH₃ ведет к сокращению выбросов N₂O, связанных с осаждением атмосферного N в полуприродных экосистемах, а это позволяет экономить удобрения, содействуя общему сокращению выбросов N₂O.

155. Заделка стойлового навоза (CH), похоже, либо снижает выбросы N₂O, либо не оказывает на них никакого воздействия. В отличие от данных по жидкому навозу данные по твердому навозу свидетельствуют о том, что часть легкоразлагаемого C теряется вместе со стоками, образующимися в результате хранения твердого навоза. Поэтому C, поступающий в почву при заделке твердого навоза, оказывает меньше воздействия на микробный метаболизм, чем жидкий навоз.

Методы категории 2

156. **Подтверждение эффективности методов категории 2.** Методы категории 2 могут оказаться полезным элементом пакета мер по сокращению выбросов NH_3 , хотя они могут характеризоваться большей неопределенностью, а снижение выбросов с их помощью заведомо труднее обобщить. Поэтому в приложении IX оговаривается, что там, где для достижения определенного сокращения выбросов используются методы категории 2, Сторонам Конвенции следует представлять материалы, подтверждающие заявленные сокращения выбросов в результате использования таких методов. Аналогичное подтверждение должно представляться и для методов категории 3, в случае их использования. Что касается методов, основанных на а) увеличении степени проникновения в почву и б) инжекторном внесении жидкого навоза под давлением, то в документации следует давать описание примененной практики и представлять результаты измерений в полевых и производственных условиях, демонстрирующие и обосновывающие сокращение выбросов. К подтверждению эффективности системы управления сроками внесения (СУСВ) предъявляются особые требования, указанные в нижеследующем пункте.

157. **Увеличение скорости инфильтрации в почву.** Если тип и свойства почвы способствуют быстрому проникновению влаги, выбросы NH_3 сокращаются по мере уменьшения содержания СВ в жидком навозе. Разбавление жидкого навоза водой не только понижает концентрацию аммонийного N, но и увеличивает скорость инфильтрации в почву после поверхностного внесения. Неразбавленный жидкий навоз (8–10% СВ) следует разбавлять как минимум в соотношении 1:1 (одна часть навоза на одну часть воды), чтобы достичь сокращения выбросов по меньшей мере на 30%. Главный недостаток метода состоит в том, что он может потребовать дополнительную емкость для хранения навоза, а в почву придется вносить больший объем жидкого навоза. В некоторых системах переработки навоза жидкий навоз может поступать, будучи уже разбавленным (например, там, где с навозом смешиваются стоки доильного зала, стоки от мытья полов, ливневые воды и т.д.). В таком случае дальнейшее интенсивное разбавление может дать лишь небольшое преимущество. Использование метода сдерживается дополнительными затратами на емкости для хранения и, главным образом, на транспортировку при внесении в почву. Кроме того, возможно повышение риска загрязнения водоносных пластов, увеличение расхода воды и выбросов углерода (фактические выбросы в пересчете на CO_2) в силу дополнительных транспортных расходов. Опыт Российской Федерации свидетельствует, что предварительная обработка почвы в целях увеличения скорости инфильтрации (например, дискование или щелевание) является эффективным средством повышения скорости инфильтрации до внесения жидкого навоза (Еськов и другие, 2001 год).

158. При внесении в почву разведенного жидкого навоза возможно увеличение риска поверхностного стока и вымывания, и это необходимо учитывать, обращая внимание на нормы внесения, свойства почвы, уклон и т.д. По этим причинам этот метод относится к категории 2, за исключением интенсивного разбавления жидкого навоза для полива (категория 1).

159. Другим средством снижения содержания СВ в жидком навозе, и следовательно увеличения скорости инфильтрации в почву, является удаление части твердых фракций с помощью механического разделения или анаэробного сбраживания. При использовании механического сепаратора с размером сита 1–3 мм потери NH_3 из отделенной жидкой фракции сокращаются максимум на 50%. Еще одним преимуществом этого метода является уменьшение заиливания

пастбищного травостоя. К недостаткам метода относятся капитальные и эксплуатационные затраты на сепаратор и вспомогательное оборудование, необходимость утилизации жидкой, и твердой фракций, и выбросы из твердой фракции. Информация, подтверждающая эффективность таких систем, должна содержать наглядное свидетельство общего сокращения выбросов NH_3 с учетом выбросов из фракций, как с низким, так и с высоким содержанием СВ.

160. Третий вариант увеличения скорости инфильтрации предполагает смыв жидкого навоза водой с травы в почву сразу после его внесения. Необходимо обильное водоснабжение, что является дополнительной операцией, однако результаты исследований в Канаде показали, что 6 мм воды могут в определенных условиях сократить потери NH_3 на 50% по сравнению с только поверхностным внесением. В информации, подтверждающей эффективность таких систем, должен указываться точный временной интервал между внесением жидкого навоза и водной промывкой травы, количество затраченной воды и достигнутое сокращение выбросов в процентах. При использовании воды после внесения навоза может возрасти риск поверхностного стока и вымывания в зависимости от почвенных условий и уклона поверхности и т.д. По этим причинам метод относится к категории 2, за исключением активного разбавления жидкого навоза для полива (категория 1).

161. **Инжекторное внесение жидкого навоза под давлением.** При использовании этого метода жидкий навоз вводится в почву под давлением 5–8 бар. Поскольку поверхность почвы не повреждается зубцами или дисками, метод применим на площадях с уклоном и на каменистых почвах, где нельзя использовать другие агрегаты инжекторного типа. В ходе полевых опытов было достигнуто сокращение выбросов в среднем на 60%, как и при инжекторном внесении в открытые борозды, однако необходимо провести дополнительную оценку этого метода.

162. **Система управления сроками внесения (СУСВ).** Самые высокие выбросы аммиака образуются в теплую, сухую, ветреную погоду (т.е. когда степень эвапотранспирации высока). Сократить выбросы можно за счет оптимального выбора времени внесения, т.е. вносить навоз в прохладную и влажную погоду, в вечернее время, непосредственно перед или во время небольшого дождя и не вносить навоз в теплую погоду, особенно тогда, когда высота солнца, и следовательно уровень солнечной радиации, являются максимальными (июнь, июль) (Reidy and Menzi 2007). Этот подход является потенциально рентабельным, поскольку он позволяет применять оборудование для внесения разбрасыванием. Подход с использованием системы управления сроками внесения (СУСВ) мог бы также сулить дополнительную выгоду, если применять его в сочетании с низкоэмиссионным методом внесения, например с помощью гибких шлангов. Возможные сокращения выбросов, достижимые с помощью этих мер, колеблются в зависимости от региональных и местных почвенно-климатических условий, поэтому набор возможных мер будет специфичным в конкретных региональных условиях.

163. Хотя преимущества таких методов управления сроками внесения известны достаточно давно, основные ограничения их применения заключаются в следующем:

а) необходимость продемонстрировать, что данный подход может обеспечить выполнение конкретных целевых показателей сокращения выбросов NH_3 на практике;

- b) необходимость четко определить, что понимается под базовыми условиями (чтобы гарантировать правильность отчетности о результатах);
- c) необходимость внедрить такую систему применения этого подхода, которая подтверждала бы его эффективность и выполнение; и
- d) ограниченная свобода действий при внесении навоза, обусловленная несущей способностью почвы и проходимость техники, наличием рабочей силы и оборудования, а также необходимостью учета других нормативных требований.

164. Можно считать, что этот подход достаточно сильно отличается от технических методов, отнесенных к категории 1, в частности, таких как ленточное внесение и заделка навоза, причем их эффективность, указанная в таблицах 12 и 13, подтверждается средними результатами многих исследований. В случае с СУСВ в оценке учитывается влияние моделей (на основе многих исследований и с учетом метеорологических условий) на реальную практику управления сроками внесения.

165. Чтобы выгоды от управления сроками внесения могли быть отнесены к методам сокращения выбросов, необходимо устранить вышеуказанные ограничения. Достигнуть этого можно путем использования Системы управления сроками внесения (СУСВ), определяемой здесь как: *поддающаяся проверке управленческая система, предписывающая внесение и регистрацию внесения твердого и жидкого навоза в разные сроки, принятие которой демонстрирует намерение доказать факт достижения количественно определенного сокращения выбросов NH₃ в масштабах хозяйства*. Использование любой СУСВ призвано продемонстрировать достижение расчетных целевых сокращений выбросов NH₃ по сравнению с базовыми показателями с тем, чтобы ее преимущества рассматривались как часть международных стратегий борьбы с выбросами.

166. Система управления сроками внесения может быть разработана на основе использования нескольких принципов изменения выбросов NH₃, выгоды от которых зависят от местного климата, а поэтому применение СУСВ будет изменяться по регионам. В СУСВ могут использоваться следующие основные принципы:

a) **Изменение выбросов NH₃ в зависимости от погоды.** Выбросы NH₃ имеют тенденцию к уменьшению при прохладной и влажной погоде и после небольшого дождя (хотя при подтоплении почвы условия внесения могут оказаться неблагоприятными). Это дает возможность прогнозировать выбросы NH₃ путем увязывания моделей его эмиссии с прогнозом погоды, что уже делается в некоторых странах, и позволяет ограничивать время внесения навоза в почву прогнозируемыми периодами низких выбросов NH₃.

b) **Изменение выбросов NH₃ в зависимости от времени года.** Выбросы NH₃ можно приблизительно определить на сезонной основе путем обобщения погодных условий в течение конкретных времен года. Например, сезонные изменения обуславливают наибольшие выбросы NH₃ в теплую летнюю погоду и их уменьшение в прохладную и сырую зимнюю погоду. Целевое сезонное планирование внесения твердого и жидкого навоза – при условии учета других ограничений, в частности необходимости увязывать время внесения навоза с периодом потребности растений и не допускать загрязнения вод, – потенциально создает условия для сокращения общих годовых выбросов.

с) **Суточные изменения выбросов NH₃.** Выбросы NH₃ проявляют тенденцию к снижению в ночное время из-за меньшей скорости ветра, более низкой температуры и более высокой влажности.

д) **Влияние продолжительности стойлового содержания животных на выбросы NH₃ по сравнению с влиянием на них продолжительности выпаса.** Выбросы NH₃ от животных, выпущенных пастись на территорию с достаточной площадью кормления (например, выпас КРС), как правило, значительно уступают выбросам, образующимся при содержании животных в помещении, поскольку в первом случае не происходит выбросов NH₃, связанных со стойловым содержанием, хранением навоза и поверхностным внесением жидкого и твердого навоза. Таким образом, продление периода пребывания животных на выгуле (особенно до 24 часов в сутки) – хотя в этом случае следует учитывать другие ограничения, в частности, качество воды и почвы при выпасе в зимний период, – позволяет сократить выбросы NH₃. Изменения практики определения времени выпаса могут учитываться в СУСВ, поскольку они влияют на общее количество вносимого навоза.

167. **Процедура подтверждения достоверности эффективности СУСВ.** Одной из главных проблем при любой СУСВ является надлежащее подтверждение эффективности метода, особенно с учетом требования неопровержимо доказать факт достижения конкретно определенного уровня сокращения выбросов. Подход СУСВ считается наиболее подходящим для уровня сельскохозяйственного предприятия, поскольку он вытекает из всей практики выбора времени внесения навоза. Целевые показатели сокращения выбросов должны устанавливаться в перспективе на год, поскольку потенциал сокращения выбросов этим методом характеризуется временной зависимостью.

168. Подтверждение достоверности эффективности СУСВ должно включать следующие этапы:

а) **Подтверждение достоверности эффективности использованного базового инструмента биофизического моделирования.** Должно представлять четкое описание использованной числовой модели, подкрепленное соответствующим независимым подтверждением по результатам полевых измерений.

б) **Подтверждение эффективности воздействия конкретного способа управления сроками внесения на выбросы NH₃.** Для каждой применяемой СУСВ необходимо продемонстрировать степень достигаемости установленного целевого сокращения выбросов по сравнению с базовыми условиями, которого удалось добиться в результате применения СУСВ в данном регионе.

с) **Подтверждение того, что фактически примененные способы соответствуют способам, указанным в отчетности.** Любая СУСВ должна применяться в сочетании с соответствующей системой регистрации в целях обеспечить, чтобы зафиксированные в СУСВ способы управления сроками внесения были применены полностью, а также для подтверждения этого факта.

169. **Определение базовых условий для СУСВ.** Для большинства наиболее низкоэмиссионных методов внесения навоза в почву достигнутые процентные показатели сокращения выбросов могут обобщаться для обширной климатической области. С другой стороны, при использовании СУСВ требуется более конкретное определение базовых условий. В целом возможно применение того же базового метода (произвольное поверхностное внесение жидкого и твердого навоза), хотя при использовании СУСВ базовый метод должен определяться в соответствии с существующей практикой также и в масштабах хозяйства. С це-

лью учета региональной изменчивости климата и междугодовой изменчивости метеорологических условий базовое определение для СУСВ расширено с таким расчетом, чтобы оно включало в себя комбинацию методов управления внесением навоза и сроками его внесения на уровне сельскохозяйственного предприятия в течение определенного базового периода при использовании базового метода внесения (поверхностное внесение) с учетом изменений метеорологических условий в течение трех лет.

170. Потенциал сокращения выбросов любой СУСВ должен быть подтвержден для региона, где СУСВ применяется. В целом в качестве составной части обоснования эффективности СУСВ должны использоваться численные имитационные модели выбросов NH_3 .

171. СУСВ может использоваться в сочетании с другими мерами сокращения выбросов NH_3 после внесения навоза в почву, например, с технологиями внесения или заделки жидкого навоза в почву. Однако дополнительное абсолютное сокращение выбросов NH_3 при помощи СУСВ изменяется в зависимости от возможностей сопутствующего метода внесения снижать выбросы. Чтобы гарантировать достижение цели общего сокращения выбросов NH_3 в масштабах сельскохозяйственного предприятия, необходимо проводить оценку общего вклада как низкоэмиссионных методов внесения, так и СУСВ.

172. В зависимости от типа СУСВ, которую предполагается внедрять, основные дополнительные затраты будут связаны с ограничением свободы действий в выборе сроков внесения навоза и с сопутствующими административными расходами, необходимыми для подтверждения эффективности СУСВ. Экономии расходов можно добиться, сочетая применение СУСВ с рекомендациями в отношении более эффективного управления запасами N в хозяйстве, например, через надежную экспертную систему.

173. Следует избегать внесения навоза до наступления или при погодных условиях, повышающих риск потери питательных веществ в водные источники. Кроме того, при разработке СУСВ следует учитывать вопросы безопасности, связанные с работой техники в определенное время, особенно в темное время суток. Условия, способствующие сокращению выбросов NH_3 (например, влажность и отсутствие ветра), могут стать причиной появления неприятного запаха и препятствовать его быстрой ликвидации.

174. **Подкисленный жидкий навоз.** Равновесие между N-аммоний и NH_3 в растворах зависит от показателя pH (кислотности). Высокий показатель pH способствует потере NH_3 ; низкий pH способствует удержанию N-аммония. Обычно достаточно понизить pH жидкого навоза до устойчивого уровня 6,0 и менее, чтобы сократить выбросы NH_3 на 50% или более. В Дании сегодня с большой эффективностью применяется метод добавления серной кислоты к жидкому навозу. При добавлении кислот в жидкий навоз необходимо принимать во внимание буферную способность, что обычно требует надлежащего контроля pH и кислотных добавок для возмещения CO_2 , образующегося и выделяющегося во время приготовления подкисленного жидкого навоза. Желательно выполнять подкисление во время хранения жидкого навоза, а также при его внесении использовать специально предназначенные емкости. Несмотря на эффективность, метод имеет существенный недостаток – обращение с концентрированными кислотами на сельскохозяйственном предприятии очень опасно.

175. К вариантам получения подкисленного жидкого навоза относятся добавление органических кислот (например, молочной) или неорганических кислот (например, азотной, серной, фосфорной), изменение состава кормов или внесе-

ние в них добавок (например, бензойной кислоты) (см. раздел IV) или внесение в жидкий навоз компонентов (например, молочнокислых бактерий), способствующих понижению pH. Недостаток органических кислот заключается в том, что они быстро разлагаются (образуется и выделяется CO_2); кроме того, для достижения желаемого уровня pH их необходимо добавлять в больших количествах, так как обычно они являются слабыми кислотами. Азотная кислота имеет преимущество, поскольку она повышает содержание N в жидком навозе, а это обеспечивает получение более сбалансированных азотно-фосфор-калийных удобрений (NPK), хотя она имеет потенциальный существенный недостаток, заключающийся в том, что нитрификация и денитрификация косвенно влияют на образование N_2O и связанное с этим повышение показателя pH. При использовании азотной кислоты уровень pH должен составлять ~4, чтобы избежать нитрификации и денитрификации, вызывающих потери нитратов и образование неприемлемых объемов N_2O . При использовании серной и фосфорной кислоты жидкий навоз дополнительно обогащается питательными веществами, что может приводить к избытку в нем серы (S) и фосфора (P). Кроме того, при добавлении чрезмерного количества кислоты возможно образование сульфида водорода, который может усугубить проблему неприятного запаха и подвергнуть риску безопасность и здоровье человека. В настоящее время подкисление жидкого навоза для сокращения выбросов NH_3 используется в производственном процессе на 125 сельскохозяйственных предприятиях Дании, где уровень pH жидкого навоза снижется примерно с 7,5 до 6,5. Этот подход применяется как в помещениях для животных (обеспечивая расчетное 70-процентное сокращение выбросов), так и при внесении навоза на поля (обеспечивая расчетное 60-процентное сокращение). Вблизи охраняемых природных территорий необходимо производить неглубокое инъекторное внесение навоза. Однако в новом законе Дании указано, что применение гибких шлангов/прицепных сошников в сочетании с подкислением жидкого навоза данным способом также соответствует установленным требованиям.

176. **Добавки суперфосфата и фосфогипса.** Согласно многолетней практике Российской Федерации эффективным способом достижения существенного сокращения потерь NH_3 при хранении и внесении навоза и помета является добавка суперфосфата и фосфогипса. Навоз и фосфогипс смешиваются в соотношении 20 к 1 в зависимости от продолжительности хранения, что сокращает выбросы NH_3 на 60%. Присутствие фосфогипса в компостах на базе навоза и помета может вдвое увеличить эффективность их применения, особенно при использовании под крестоцветные культуры (Новиков и другие, 1989 год; Еськов и другие, 2001 год). Основным регламентирующим фактором широкого использования компостов с фосфогипсом является опасное накопление излишков связанного фтора и стронция в почве. В Российской Федерации эта практика применяется в сельском хозяйстве для утилизации промышленных отходов фосфогипса, образующихся при производстве серной кислоты. При планировании управления питанием необходимо учитывать потребность растений в N и P, избегая переизбытка P.

Методы категории 3

177. **Прочие добавки.** Было продемонстрировано, что использование солей кальция (Ca) и магния (Mg), кислотных соединений (например, FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) и суперфосфата сокращают выбросы NH_3 , но (за исключением случая, отмеченного в пункте 164) требует слишком большого количества, чтобы применяться на практике. Были также использованы такие абсорбирующие материа-

лы, как торф и цеолиты. Кроме того, на рынке имеется ряд других добавок, но в целом они не проходили независимое тестирование.

VIII. Внесение удобрений

A. Удобрения на основе мочевины

178. Выбросы аммиака в атмосферу при внесении удобрений зависят от вида удобрения, погоды и свойств почвы. Уровень выбросов из удобрений на основе мочевины намного превышает их объемы выбросов из других видов удобрений, поскольку быстрый гидролиз мочевины вызывает локальное повышение pH в почве. Быстрый гидролиз часто происходит в почвах с высокой уреазной активностью из-за большого количества пожнивных остатков. Уровень выбросов из безводного аммиака может оказаться существенным, если инъекция выполнена плохо, а после нее почва не заделана должным образом; успех зависит от выбора подходящей почвы и ее соответствующей влажности, чтобы обеспечить необходимое покрытие гнезд инъекции. Выбросы из сульфата аммония и диаммоний-фосфата возрастают после внесения этих видов удобрений на карбонатные почвы (имеющие высокий показатель pH). Поэтому в методах сокращения выбросов делается упор на внесение удобрений на основе мочевины на почвы всех типов и внесение сульфата аммония и диаммоний-фосфата на карбонатные почвы. Методы сокращения выбросов основываются либо на замедлении гидролиза мочевины с образованием карбоната аммония, либо на содействии быстрому переводу удобрения в почву (Sommer, Schjoerring and Denmead, 2004).

179. Использование методов сокращения выбросов NH_3 из удобрений на основе мочевины является важным вкладом в общее сокращение выбросов NH_3 в сельском хозяйстве. Следует особо отметить, что выбросы NH_3 из удобрений на основе мочевины (обычно от 5% до 40% N теряется в виде NH_3) намного выше, чем из удобрений на основе нитрата аммония (в виде NH_3 обычно теряется от 0,5% до 5%). Несмотря на то, что нитрат аммония является самым распространенным в Европе видом азотных удобрений, существует постоянный риск ограничения или запрета его использования в будущем в некоторых странах по соображениям надежности и/или безопасности. По соображениям безопасности, а также в силу более высокой стоимости нитрата аммония уже в значительной степени был замещен мочевиными формами по всей Северной Америке. Поскольку меры по сокращению выбросов NH_3 из удобрений на основе мочевины имеют ограничения по применению в отношении определенных культур, особенно многолетних культур, можно ожидать, что такая замена значительно увеличит выбросы NH_3 на региональном уровне.

180. При соблюдении агротехнически разумных норм и сроков внесения азотных удобрений улучшение усвоения N растениями является главной выгодой от снижения выбросов NH_3 при минимальном возрастании потерь через другие каналы (например, вымывание нитратов, денитрификация). Кроме того, за счет сокращения выбросов аммиака можно ожидать аналогичного сокращения непрямых потерь N (например, путем уменьшения вымывания и денитрификации в лесных почвах). Если рассматривать всю систему в целом (сельскохозяйственные земли, земли несельскохозяйственного назначения и переносы путем рассеивания атмосферных загрязнений), то, как предполагается, эти меры в целом не увеличат общее вымывание нитратов или потери закиси азота. Эти меры направлены в первую очередь на сохранение N в системе сельскохозяйственно-

го производства и тем самым на максимальное повышение продуктивности (см. также раздел III).

181. *Базовый метод.* Базовым методом является поверхностное внесение азотного удобрения разбрасыванием. Эффективность ограничения и затраты на низкоэмиссионные методы внесения обобщаются в таблице 15.

Методы категории 1

182. Методы категории 1 для удобрений на основе мочевины включают в себя использование ингибиторов уреазы, гранулированных удобрений длительного действия в полимерной оболочке, инжекторное внесение, быструю заделку в почву и полив сразу после внесения. Из перечисленных методов внутрисочвенное инжекторное внесение, быстрая заделка удобрений в почву и полив сразу после внесения также применимы при внесении сульфата аммония (и диаммонийного фосфата) на карбонатные почвы.

183. **Ингибиторы уреазы** замедляют превращение мочевины в карбонат аммония путем направленного ингибирования фермента уреазы. Такой отсроченный/замедленный гидролиз значительно снижает увеличение показателя рН почвы вокруг круглых гранул мочевины и, следовательно, значительно сокращает выбросы NH_3 (Chadwick et al., 2005; Watson et al., 1994). Отсрочка начала гидролиза также повышает возможность смыва мочевины в почвенный поглощающий комплекс, способствуя дальнейшему уменьшению потенциала выбросов NH_3 . Европейский союз¹⁰ составил список одобренных ингибиторов уреазы.

184. **Гранулы мочевины в полимерной оболочке** представляют собой удобрение длительного действия, которое может снижать выбросы NH_3 (см., например, Rochette et al., 2009), причем уровень их снижения зависит от свойств полимерной оболочки и способа применения, т.е. путем поверхностного внесения удобрения или внесения в сочетании с инжекторным внесением мочевины.

185. **Заделка удобрения в почву** путем прямой инъекции в закрытые борозды или путем обработки почвы может служить эффективным методом сокращения выбросов (Sommer et al., 2004). При использовании круглых гранул мочевины сочетание инъекции или заделки с медленно растворимыми оболочками позволяет вносить удобрения только один раз до формирования растений, исключая необходимость дальнейшего поверхностного внесения. На эффективность сокращения выбросов влияет глубина внутрисочвенного внесения и структура почвы. Смешивание удобрения с почвой путем культивации может оказаться менее эффективной мерой сокращения выбросов, чем внутрисочвенное внесение на такую же глубину, так как часть удобрения при перемешивании оказывается близко к поверхности почвы. Для культур с коротким вегетационным периодом запас N на весь этот период можно обеспечить путем внутрисочвенного внесения мочевины во время посева, сэкономив, таким образом, время и деньги сельхозпроизводителя. Этот прием получил широкое распространение среди фермеров западной Канады.

¹⁰ Регламент Комиссии (ЕС) № 1107/2008 от 7 ноября 2008 года, вносящий изменения в Регламент (ЕС) № 2003/2003 Европейского парламента и Совета в отношении удобрений в целях адаптации Приложений I и IV к техническому прогрессу. Размещен по адресу <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008R1107:EN:NOT> (доступен с 29 мая 2013 года).

186. Было продемонстрировано, что при норме **полива не менее 5 мм воды** сразу после внесения удобрений выбросы NH_3 сокращаются на 70% (Oenema и Velthof, 1993; Sanz-Sobesa, 2010). Вода не должна использоваться на влажных почвах сверх полной полевой влагоемкости. Этот метод относится к категории 1 только в тех случаях, когда есть необходимость в водном поливе, поскольку в противном случае метод может увеличить риск вымывания нитратов.

187. **Замена мочевины нитратом аммония** в составе удобрений является достаточно простым способом сократить выбросы NH_3 при эффективности около 90%. Возможный отрицательный побочный эффект заключается в потенциальном увеличении выбросов N_2O , особенно при внесении удобрений на основе нитрата аммония на сырые или влажные почвы. Затраты на эту меру представляет собой ценовую разницу между двумя видами удобрений и количеством N удобрения, необходимого для обеспечения оптимального уровня азотного питания растений. Общая стоимость удобрения с нитратом аммония превышает стоимость удобрений на основе мочевины в зависимости от условий рынка (от 10% до 30%). Однако при этом себестоимость может быть незначительной, а за счет сокращения потерь N можно получить чистую прибыль.

188. **Возможные финансовые последствия.** Увеличение затрат на реализацию этих методов в определенной степени окупается (или приносит чистую прибыль) благодаря экономии от использования удобрений, необходимых для получения такой же урожайности, как и при использовании базового метода, и даже более высокой урожайности при той же норме внесения удобрения.

189. **Влияние на цикл N.** При соблюдении разумных агротехнических нормативов, сроков и способов внесения азотных удобрений улучшение потребления N растениями является главной выгодой от снижения выбросов NH_3 при минимальном увеличении потерь через другие каналы (например, вымывание нитратов, денитрификация). Кроме того, за счет сокращения выбросов NH_3 можно ожидать такого же сокращения не прямых потерь N (например, путем уменьшения вымывания и денитрификации в лесных почвах). Если брать всю систему в целом (сельскохозяйственные земли, земли несельскохозяйственного назначения и перенос рассеянных атмосферных загрязнений), то можно предположить, что эти меры в целом не увеличивают общее вымывание нитратов или потери закиси азота. Эти меры направлены на сохранение N в системе сельскохозяйственного производства, а тем самым на максимальное увеличение продуктивности.

Методы категории 2

190. **Система управления сроками внесения (СУСВ).** Эта система представляет собой проверенную систему, в которой используются колебания потенциала выбросов NH_3 при изменении условий окружающей среды для управления сроками внесения в целях сокращения общих выбросов. Внесение удобрений в условиях прохладной погоды и перед дождем (учитывая при этом необходимость избегать связанного с этим риска стока в водные объекты) характеризуется более низким уровнем выбросов NH_3 . В случае использования этой стратегии необходимо подтверждать достоверность базовых условий и достигнутых уровней сокращения выбросов.

191. **Смешивание мочевины с сульфатом аммония.** Совместное гранулирование мочевины и сульфата аммония может сократить выбросы NH_3 по сравнению с внесением чистой мочевины на определенных типах почвы (Oenema and Velthof, 1993). Перед тем как давать рекомендации необходимо провести дополнительные исследования на большем количестве типов почвы.

Таблица 15
**Варианты сокращения выбросов аммиака из удобрений
на основе мочевины (категория 1)**

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид удобрения</i>	<i>Сокращение выбросов (%)</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость</i>	<i>Затраты (евро/кг снижения NH₃/год)</i>
Поверхностное внесение разбрасыванием	На основе мочевины	Базовый метод			
Ингибиторы уреазы	На основе мочевины	70% для твердой мочевины, 40% для жидкой мочевины и нитрата аммония		Везде	-0,5–2,0
Удобрения длительного действия (в полимерной оболочке)	На основе мочевины	~30%	Вид и целостность полимерной оболочки; способ внесения удобрений (поверхностное или инъекторное внесение)	Везде	-0,5–2,0
Инъекторное внесение в закрытые борозды	На основе мочевины и твердые аммонийные удобрения	80–90%	Глубина заделки; гранулометрический состав почвы; закрытие борозд (неадекватное закрытие борозд может привести к высокому уровню выбросов в результате высокого содержания мочевины в бороздах с увеличением pH)	Вспашка или минимально обработанная почва до или во время посева или вовремя механической прополки сорняков после прорастания	-0,5–1,0
Заделка	На основе мочевины	50–80%	Заделка после внесения удобрений; глубина смешивания; гранулометрический состав почвы	Вспашка почвы до посева культур	-0,5–2,0
Полив	Все	40–70%	Выбор времени и объемов полива (наиболее эффективен немедленный полив, 10 мм воды); влажность почвы; гранулометрический состав почвы	Там, где широко применяется полив культур	-0,5–1,0
Замена нитратом аммония	На основе мочевины и твердые аммонийные удобрения	До 90%	В условиях, при которых удобрения на основе мочевины образовывали бы выбросы по меньшей мере 40%	Везде, особенно там, где возможно только поверхностное применение и невозможен полив	-0,5–1,0

Примечание: Местные затраты/выгоды могут варьироваться, хотя проведенные испытания показали, что финансовая выгода от повышения урожайности культур может более чем "перевесить" затраты на применение некоторых мер по сокращению выбросов.

Методы категории 3

192. *Ленточная заделка мочевины.* Этот метод не рекомендуется использовать на почвах с высокой активностью уреазы (например, при наличии пожнивных остатков) и низкой способностью адсорбировать мочевину, поскольку это мо-

жет сопровождаться увеличением выбросов NH_3 по сравнению с базовым методом (см., например, Rochette et al., 2009).

В. Удобрения на основе сульфата, фосфата и нитрата аммония

193. *Базовый метод.* Базовым методом внесения является поверхностное внесение сульфата и фосфата аммония.

Методы категории 1

194. Некоторые из описанных выше методов внесения мочевины могут применяться также для сокращения выбросов NH_3 из удобрений на основе сульфата и фосфата аммония. Наибольшие риски возникают при внесении этих удобрений в карбонатные и другие почвы с высоким показателем рН. Методы категории 1 применения удобрений на основе сульфата и фосфата аммония включают в себя заделку, внутрипочвенное внесение, немедленный полив и применение удобрений длительного действия в полимерной оболочке на почвах с высоким показателем рН (с учетом результатов испытаний).

Методы категории 2

195. Выбросы из удобрений, не содержащих мочевины, таких как нитрат аммония и известково-аммиачная селитра, невелики, хотя они могут образовываться отчасти как в результате прямых выбросов из удобрений, так и отчасти от опосредованных выбросов из растений вследствие применения удобрений. Скашивание трав также увеличивает выбросы NH_3 за счет выбросов из отрастающего травостоя, вызванных активной мобилизацией азота в растительном покрове под воздействием скашивания. Внесение удобрений на пастбища в течение первых нескольких дней после скашивания формирует избыток азота, что приводит к значительному увеличению выбросов как в результате скашивания, так и в результате внесения удобрений. Отсрочка внесения азотных удобрений после покоса дает травам возможность восстановиться, и тем самым сократить выбросы NH_3 . Анализ на основе модели показал, что двухнедельная отсрочка внесения азотных удобрений приводит к сокращению общего уровня (общего годового) выбросов NH_3 из скошенного и удобренного пастбища на 15%. Аналогичный результат можно получить при других вариантах выбора времени внесения удобрений в зависимости от региональных условий. Однако эта практика снижает урожайность трав. Учитывая взаимосвязь с погодными условиями и необходимость дальнейшей работы для определения оптимальных сроков задержки внесения азотного удобрения при различных системах управления, следует классифицировать этот метод как метод категории 2. Этот подход может быть включен в СУСВ.

IX. Другие меры, касающиеся сельскохозяйственного азота

А. Выпас

196. Моча пасущихся животных нередко просачивается в почву до образования существенных выбросов NH_3 . Поэтому выбросы NH_3 в пересчете на одно животное будут ниже при выпасе животных, чем при их содержании в помещении, при котором экскременты собираются, хранятся и затем вносятся в почву.

Сокращение выбросов, достигаемое за счет увеличения периода выпаса в течение года, зависит, в частности, от базового уровня (т.е. выбросов при безвыгульном содержании животных), продолжительности выпаса животных и содержания азотных удобрений на пастбище. Возможность увеличения периода выпаса нередко ограничивается такими факторами, как наличие пастбищ, тип почвы, топографические особенности, размеры и структура хозяйства (расстояния), климатические условия, экономические соображения и т.д. Следует отметить, что продленный период выпаса животных может привести к увеличению выбросов других форм N (например, в виде N_2O , NO_3). Однако, учитывая, что воздействие этого метода на выбросы NH_3 легко пересчитывается в количественных показателях, его можно отнести к категории 1 (в зависимости от изменения соотношения периодов, когда животные содержатся в помещениях или на пастбище в течение 24 часов). Эффективность сокращения выбросов может рассматриваться как относительный общий объем выбросов NH_3 при выпасе по сравнению с содержанием в помещении (см. также пункты 40 и 52).

197. Результаты изменения периода частичного содержания в помещении (например, только при дневном выгуле) менее заметны, и этот метод отнесен к категории 2. Переход с круглосуточного содержания животных в помещении на выпас в течение части дня менее эффективен с точки зрения сокращения выбросов NH_3 , чем переход на круглосуточный выпас (24 часа), так как здания и хранилища остаются загрязненными и продолжают выделять NH_3 (см. также пункты 40 и 52).

В. Обработка навоза

198. Продолжаются исследования различных вариантов сокращения выбросов NH_3 путем обработки навоза. Ниже указаны некоторые потенциально перспективные методы:

а) *Компостирование твердого или жидкого навоза с добавлением твердых веществ*: результаты экспериментов весьма неоднозначны и иногда указывают на увеличение выбросов NH_3 ; по этой причине следует рассматривать возможность сочетания систем компостирования навоза с другими методами сокращения выбросов NH_3 из данного источника, как, например, организация покрытия и очистка воздуха скрубберами.

б) *Управляемые процессы денитрификации жидкого навоза*: работа экспериментальных установок свидетельствует о том, что сокращение выбросов NH_3 возможно за счет преобразования аммония в газообразный N_2 путем регулируемой денитрификации (чередование аэробных и анаэробных условий). Для достижения этого требуется специальный реактор. Определение эффективности и надежности этой системы и ее воздействия на другие выбросы требует дальнейших исследований.

в) *Разделение навоза для удаления P или для создания подстилки*: необходимо продолжить исследования воздействия этих систем на выбросы.

199. В целом эффективность вариантов, включающих обработку навоза, должна рассматриваться с учетом конкретных условий страны и особенностей сельскохозяйственного предприятия. Помимо выбросов NH_3 следует также учитывать и другие выбросы, потоки питательных веществ и применимость системы в условиях хозяйства. В силу упомянутых неопределенностей эти меры следует в целом отнести к категории 2 или 3. Исключением является очистка воз-

духа скрубберами в помещениях для компостирования навоза (категория 1), которая прошла многочисленные испытания, но требует существенных затрат.

С. Несельскохозяйственное использование азота

200. Если навоз используется вне сельскохозяйственного сектора, то выбросы в этом секторе можно сократить. Примеры такого использования, уже нашедшего широкое распространение в некоторых странах, включают сжигание помета птицы и использование конского навоза и куриного помета для выращивания грибов. Достигнутый уровень сокращения выбросов зависит от того, насколько быстро навоз вывозится из хозяйства, и каким образом он обрабатывается. Общее сокращение выбросов достигается только в том случае, если использование самого навоза не сопровождается образованием значительных выбросов (включая выбросы других веществ помимо NH_3). Например, при использовании навоза в садоводстве или его экспорте в другие страны общего сокращения выбросов не происходит. Следует также принимать во внимание другие экологические аспекты, например сжигание подстилки птичников является возобновляемым источником энергии, но при этом не все питательные вещества, содержащиеся в подстилке, возвращаются в сельскохозяйственный оборот.

Х. Несельскохозяйственные стационарные и мобильные источники выбросов

201. Существует широкий ряд несельскохозяйственных источников выбросов NH_3 , включая выбросы двигателей автомобилей, утилизацию отходов, сжигание твердого топлива в жилищном секторе, а также различные отрасли промышленности, из которых наиболее крупным источником в Европе, вероятно, является туковая промышленность. Есть также еще одна небольшая, но в совокупности значительная группа естественных источников, в которую включаются, например, дыхание и выделение пота человека, а также выбросы дикими животными (Sutton et al. 2000). В настоящее время в отчетных протоколах ЕЭК ООН о выбросах, не проводится различия между естественными и антропогенными источниками так, как это делается для летучих органических соединений (ЛОС).

202. Общей особенностью многих из этих секторов является тот факт, что раньше выбросы NH_3 в них не учитывались. Это в первую очередь относится к транспорту, что будет продемонстрировано ниже. Таким образом, суть первой рекомендации относительно снижения выбросов NH_3 из несельскохозяйственных источников сводится к необходимости учитывать выбросы NH_3 при оценке показателей отрасли и других источников. Там, где устанавливается факт образования выбросов NH_3 или предполагается, что такие выбросы, скорее всего, возрастут в результате технического прогресса, эксплуатирующим и конструкторским организациям следует рассмотреть пути оптимизации таких систем с целью предотвращения или минимизации выбросов.

А. Общие методы

203. Для очистки мощных газовых потоков с высокой концентрацией NH_3 подходят **скрубберы Вентури**. Затраты на сокращение выбросов составляют около 3 500 евро/т без учета расходов на очистку отходящих газов. Как и в дру-

гих случаях, рассматриваемых в данном разделе, конкретная эффективность затрат меняется в зависимости от размера установки, концентрации NH_3 и других факторов.

204. Для очистки потоков объемом от 50 до 500 т в год подходят **скрубберы на растворе кислоты**, представляющие собой башню с загружаемыми навалом насадками, через которые циркулирует слабокислотный раствор. К препятствиям для применения этой технологии относятся ее ограниченная пригодность для потоков газа больших объемов, потенциально высокая стоимость очистки сточных вод, а также риски для безопасности, связанные с хранением серной кислоты. Имеющиеся данные о затратах варьируются в широких пределах: от 180 до 26 000 евро/т NH_3 . Различия и в этом случае в значительной степени зависят от размера установки и скорости потока NH_3 .

205. В технологиях регенеративного термического окисления для сжигания NH_3 , присутствующего в потоке газа, требуется дополнительное топливо (обычно природный газ). Расходы в данном случае колеблются от 1 900 до 9 100 евро/т NH_3 .

206. Для очистки газовых потоков малых объемов с низкой концентрацией NH_3 применяются биофильтры, которые могут обеспечить сокращение выбросов примерно в объеме 1 тонны в год. Эта система является самой дешевой для небольших источников. Согласно имеющимся данным, затраты на сокращение выбросов составляет от 1 400 до 4 300 евро/т в зависимости от сектора.

207. Эффективность сокращения выбросов с помощью методов, представленных в этом разделе, как правило, составляет около 90%.

В. Методы, подходящие для отдельных секторов экономики

208. **Выбросы NH_3 автотранспортных средств** значительно возросли в результате внедрения каталитических систем очистки выхлопных газов (согласно оценкам, в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии объем выбросов за указанный период вырос в 14 раз). Эта проблема решается, в основном, за счет внедрения усовершенствованных топливных систем, перехода от карбюраторной технологии к электронным системам зажигания, которые обеспечивают более строгий контроль состава воздушно-топливной смеси. К увеличению выбросов могут привести меры по снижению содержания серы в топливе, некоторые способы борьбы с выбросами NO_x из автомобилей, оснащенных дизельными двигателями, а также использование альтернативных видов топлива. Несмотря на последствия всех этих мер для выбросов NH_3 , ни производители автомобилей, ни регулирующие органы не рассматривают NH_3 как приоритетное загрязняющее вещество. Поэтому важно, чтобы в этом и других секторах экономики учитывались воздействие технологических изменений на выбросы NH_3 . Такой учет позволит принять меры по предупреждению и сведению к минимуму выбросов на стадии проектирования, когда выявляется возможность возникновения проблем.

209. **Проскок аммиака на стационарных установках каталитического восстановления.** В некоторых секторах наиболее крупный источник NH_3 может быть связан с утечкой NH_3 из установок по улавливанию NO_x . Существует два метода: улавливание NH_3 , содержащегося в дымовых газах, что может сократить выбросы от 40 мг/м³ примерно на 90%, и более эффективный контроль работы оборудования по борьбе с выбросами NO_x . Потенциал сокращения выбро-

сов NH_3 из этого источника требует более тщательного рассмотрения в связи с усилением борьбы с выбросами NO_x за счет более широкого применения НИМ.

210. **Неиспарительные системы охлаждения** применяются в свеклосахарном производстве. Эти системы позволяют обеспечить эффективность сокращения выбросов свыше 95%. Ориентировочные затраты составляют 3 500 евро на т снижения выбросов NH_3 .

211. **Выбросы, образующиеся в процессе сжигания в бытовом секторе**, можно сокращать с помощью ряда различных методов: от принятия мер по повышению энергоэффективности до использования более качественного топлива и усовершенствования отопительного оборудования. Имеется ряд серьезных препятствий для применения некоторых из этих вариантов: от технических (например, отсутствие инфраструктуры снабжения природным газом) до эстетических (например, когда людям нравится наблюдать за открытым огнем в каминах).

212. **Герметизация свалок**. При удалении отходов путем устройства свалок или компостирования также могут образовываться значительные объемы выбросов NH_3 . Такие методы борьбы с выбросами метана на свалках, как герметизация участков захоронения отходов, сжигание свалочного газа в факеле или его утилизация являются эффективными средствами борьбы с выбросами NH_3 .

213. **Биофльтрация** (см. выше) успешно применяется на ряде централизованных установок по приготовлению компоста, нередко в первую очередь для борьбы с неприятным запахом, а не для сокращения выбросов NH_3 . Самый простой метод, применимый для внутрихозяйственного компостирования, а также на более крупных объектах, состоит в регулировании содержания углерода и азота в оптимального весовом соотношения 30:1.

214. **Лошади**. Необходимо провести исследования, чтобы установить, в какой степени выбросы, образующиеся в конюшнях, должны включаться в инвентаризацию сельскохозяйственных и несельскохозяйственных источников. Во многих случаях лошади содержатся за пределами сельскохозяйственных предприятий и поэтому такие выбросы могут не учитываться при инвентаризации выбросов в сельском хозяйстве. Наиболее эффективный метод снижения выбросов из этих источников состоит в надлежащем содержании конюшен, обеспечении достаточного количества соломы для впитывания мочи и ежедневной чистке конюшни. Более сложные методы борьбы с выбросами, такие, как применение навозосборников, едва ли могут использоваться в небольших конюшнях, но их описание приводится в других разделах данного документа.

С. Производство неорганических азотных удобрений, мочевины и аммиака

215. Наиболее крупными промышленными источниками выбросов NH_3 являются заводы по производству смешанных удобрений – фосфата аммония, нитрофосфатов, калийных и комплексных удобрений, и предприятия по производству азотных удобрений, в том числе, мочевины и NH_3 . Наибольший объем выбросов NH_3 в этом секторе приходится на предприятия по производству фосфата аммония. По имеющимся данным содержание аммиака в неочищенных выбросах в атмосферу из этого источника составляет от 0,1 до 7,8 кг N/т продукции.

216. К производителям азотных удобрений относятся предприятия по производству NH_3 , мочевины, сульфата аммония, нитрата аммония и/или сульфата нитрата аммония. На соответствующих предприятиях также производится азотная кислота, которая используется в процессе производства. Выбросы NH_3 с наибольшей вероятностью образуются при нейтрализации азотной кислоты безводным NH_3 . Уменьшить концентрацию до уровня $35 \text{ мг NH}_3/\text{м}^3$ или ниже можно за счет использования скрубберов мокрой очистки. По имеющимся данным значение удельных выбросов на правильно эксплуатируемых установках составляет от 0,25 до 0,5 кг $\text{NH}_3/\text{т}$ продукции.

217. На предприятиях по производству комплексных удобрений в дополнение к использованию скрубберов, циклонов и тканевых фильтров, которые являются неотъемлемыми составными элементами конструкции установок и производственных процессов, применение дополнительных методов борьбы с выбросами, как правило, не требуется. В целом благодаря получению максимального объема продукции при минимальном объеме выбросов в атмосферу за счет надлежащего технического обслуживания и эксплуатации очистного оборудования можно добиться ограничения выбросов до уровня $50 \text{ мг NH}_3\text{-N}/\text{м}^3$.

218. На эксплуатируемых надлежащим образом предприятиях выбросы при производстве NPK-удобрений с использованием нитрофосфатного процесса или смешанных кислотных процессов составляют 0,3 и 0,01 кг/т произведенных удобрений (в пересчете на N). Однако коэффициенты выбросов могут значительно изменяться в зависимости от видов производимого удобрения

219. В производстве мочевины выбросы аммиака отражаются в отчетности как выбросы, образовавшиеся в ходе рекуперационной абсорбции ($0,1\text{--}0,5 \text{ кг NH}_3/\text{т}$ продукции), абсорбции в процессе концентрации ($0,1\text{--}0,2 \text{ кг NH}_3/\text{т}$ продукции), на стадии прилирования ($0,5\text{--}2,2 \text{ кг NH}_3/\text{т}$ продукции) и в процессе гранулирования ($0,2\text{--}0,7 \text{ кг NH}_3/\text{т}$ продукции). Источниками образования карбамидной пыли являются как грануляционные колонны ($0,5\text{--}2,2 \text{ кг NH}_3/\text{т}$ продукции), так и грануляторы ($0,1\text{--}0,5 \text{ кг/т}$ продукции в виде карбамидной пыли).

220. На предприятиях по производству мочевины для ограничения неорганизованных выбросов, образующихся при работе грануляционных колонн и при упаковочных операциях, используются скрубберы мокрой очистки или тканевые фильтры. Такое очистное оборудование аналогично тому оборудованию, которое применяется на предприятиях по производству комплексных удобрений; причем оно является неотъемлемой составной частью технологического процесса, предназначенного для сохранения продукции. На новых установках по производству мочевины при условии их надлежащей эксплуатации можно ограничить выбросы дисперсных частиц до уровня менее $0,5 \text{ кг/т}$ продукции как по мочеvine, так и по NH_3 .

Приложение I

Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла

1. Обычно управление определяется как "последовательный набор действий, направленных на достижение определенных целей". Это определение применимо ко всем секторам экономики, включая сельское хозяйство. Управление потоками азота можно определить как "последовательный набор действий, связанных с использованием азота в сельском хозяйстве с целью достижения агрономических и природоохранных/экологических целей" (например, Oenema and Pietrzak, 2002). Агрономические цели связаны с урожайностью и качеством сельскохозяйственных культур и продуктивностью животных в контексте их благополучия. Природоохранные/экологические цели связаны с потерями N в сельском хозяйстве. Выражение "с учетом полного азотного цикла" подчеркивает необходимость принимать во внимание все аспекты круговорота азота, в том числе в части "сокращения выбросов NH_3 ", чтобы не допустить "замещения одного вида загрязнения другим".

2. Азот является обязательной структурной составляющей всех растительных и животных белков (и энзимов); он участвует в фотосинтезе, эвтрофикации, закислении среды и в различных окислительно-восстановительных процессах. В результате этих процессов N изменяет свою форму (соединения), химическую активность и мобильность. К основным мобильным формам относятся газообразные формы: N_2 , NH_3 , окислы азота (NO и NO_2), N_2O и водорастворимые формы: нитрат (NO_3^-), аммоний (NH_4^+) и растворимый органически связанный азот (РОА). В гумусе (перегное) большая часть азота находится в амидной форме, связанной с органическим углеродом (R-NH_2). Из-за своей мобильности, как в воздухе, так и в воде, химически активный азот часто называют "дважды мобильным".

3. Азотный цикл тесно увязан с углеродным циклом и циклами других питательных веществ. Поэтому управление потоками N может повлиять на круговорот углерода, на суммарные выбросы CO_2 в атмосферу и на связывание углерода в почве. Как правило, система, допускающая утечку азота, допускает утечку и углерода, и наоборот, а это еще раз подтверждает важность рассмотрения управления потоками азота с точки зрения всего сельскохозяйственного предприятия.

4. В зависимости от типа сельскохозяйственного предприятия управление потоками N в масштабах хозяйства предусматривает ряд комплексных управленческих действий, включая:

- a) внесение удобрений под сельскохозяйственные культуры;
- b) организацию выращивания и уборки сельскохозяйственных культур и переработку пожнивных остатков;
- c) выращивание почвозащитных или покровных культур;
- d) уход за лугами и пастбищами;
- e) обработку почвы, осушение и ирригацию;
- f) кормление животных;

- g) содержание стада (в том числе с учетом благополучия животных), включая стойловое содержание;
- h) использование навоза, включая хранение и внесение;
- i) меры по снижению выбросов аммиака;
- j) меры по снижению вымывания нитратов и предупреждению загрязнения поверхностных стоков;
- k) меры по снижению выбросов N_2O ;
- l) меры по снижению денитрификации.

Для того чтобы добиться высокопродуктивного растениеводства и животноводства с минимальными потерями N и другими непреднамеренными экологическими последствиями, все мероприятия должны быть комплексными и взвешенными.

5. Азот жизненно необходим для роста растений. В растениеводстве он часто является наиболее дефицитным элементом питания, а поэтому, чтобы получить оптимальные урожаи сельскохозяйственных культур, N должен присутствовать в почве в достаточном количестве, причем в усвояемой растениями форме. Основным источником потерь N в окружающую среду, в том числе выбросов NH_3 в атмосферу, является его избыточное или несвоевременное внесение. Не допустить избыточного или несвоевременного внесения N – это один из наилучших способов минимизировать потери N (и другие воздействия на окружающую среду) без ущерба для урожайности культур и продуктивности животных. Следует придерживаться руководящих принципов передовой практики управления питательными веществами для конкретных видов объектов, включая:

- a) планирование подкормки и ведение учета по всем питательным веществам;
- b) расчет общей потребности в N для каждой культуры на основе реалистичных оценок целевых показателей урожайности, содержания N в конкретной культуре и ее способности эффективно усваивать N;
- c) оценку общего поступления N из местных источников с использованием официально сертифицированных методов, включая оценку:
 - i) минерального N в верхних слоях почвы на стадиях посева и плодоношения (проверка состояния почвы и растений);
 - ii) минерализации остатков предыдущего урожая;
 - iii) чистой минерализации органического вещества почвы, в том числе последствия внесения навоза за несколько лет и – что касается пастбищ – испражнений животных на выпасе;
 - iv) выпадения химически активного N из атмосферы;
 - v) биологическую фиксацию N_2 бобовыми культурами;
- d) расчет необходимых объемов внесения N с учетом потребности в N соответствующей культуры и поступления N из местных источников;
- e) расчет количества питательных веществ во вносимом навозе, которые будут доступны для усвоения сельскохозяйственными культурами. Нормы внесения навоза будут зависеть от:

- i) потребностей сельскохозяйственных культур в азоте, фосфоре и калии;
- ii) количества поступающих из почвы N, фосфора и калия, определяемого на основе результатов анализа состояния почвы;
- iii) обеспеченности навозом;
- iv) содержания в навозе легкодоступных N, фосфора и калия; и
- v) интенсивности выделения из навоза труднодоступных питательных веществ – с учетом остаточных эффектов;
- f) оценку требуемого количества N и других питательных веществ, которое должно поступить с удобрениями, с учетом потребности в N соответствующей культуры и поступления N из локальных источников и навоза животных;
- g) внесение навоза животных и/или азотного удобрения незадолго до начала быстрого роста культур с использованием методов и приемов, которые препятствуют выбросам NH_3 ;
- h) внесение в соответствующих случаях азотных удобрений несколькими порциями (дробная подкормка) с проведением при целесообразности проверки состояния растений на стадии плодоношения.

6. Предпочтительными мерами по снижению общих выбросов NH_3 являются те меры, которые одновременно снижают и другие нежелательные выбросы N, и в то же время поддерживая или повышая продуктивность сельскохозяйственного производства (меры, дающие синергический эффект). И наоборот, меры, нацеленные на снижение выбросов NH_3 , которые увеличивают другие нежелательные выбросы (антагонистический эффект), должны быть радикально изменены, чтобы свести к минимуму антагонистический эффект. Таким антагонистическим эффектом может быть, в частности, увеличение выбросов CH_4 жвачными животными. Аналогичным образом, меры по снижению выбросов не должны приводить к увеличению других видов сельскохозяйственного загрязнения (например, потери фосфора (P), патогены, эрозия почвы) или потреблению ресурсов (например, топлива), ухудшению качества продуктов питания (например, повышенное содержание антибиотиков, гормонов или пестицидов) или к пагубному воздействию на здоровье и благополучие сельскохозяйственных животных (например, по причине ограничения размера коровников или плотности поголовья) (Jarvis et al., 2011).

7. Эффективность управления потоками N можно оценить с точки зрения а) снижения $N_{\text{изб}}$ и б) повышения эффективности использования N (ЭИА). Показатели эффективности использования азота (ЭИА) дают возможность оценить количество N, которое удерживается в сельскохозяйственной культуре или животных продуктах, относительно количества внесенного или поступившего азота. $N_{\text{изб}}$ является показателем азотной нагрузки сельхозпредприятия на окружающую среду, зависящего, в том числе, от канала, через который $N_{\text{изб}}$ теряется в виде летучего аммиака, вымывание N и/или нитрификацию-денитрификацию. Управление оказывает большое воздействие как на ЭИА (Tamminga 1996; Mosier, Syers and Freney, 2004), так и на $N_{\text{изб}}$.

8. В то время как отношение общего выхода N (через продукты, вывозимые из хозяйства) к общему поступлению N (ввозимому в хозяйство, в том числе посредством биологической фиксации N_2) (отношение массы к массе) является показателем эффективности использования N в масштабах хозяйства, разность

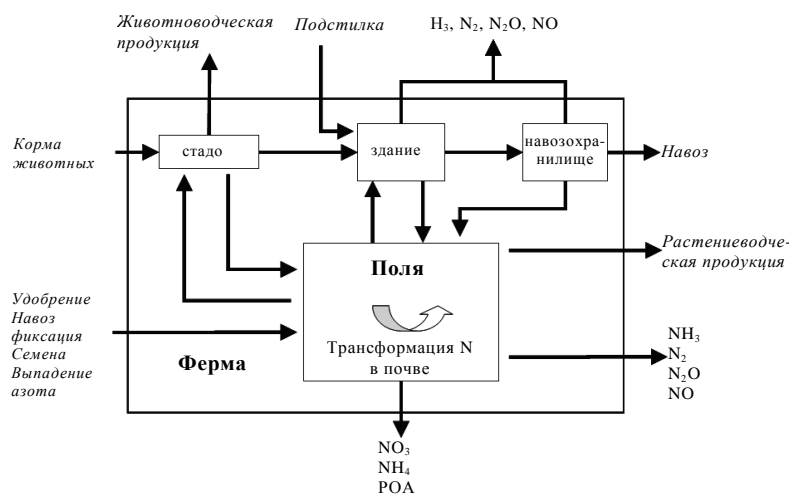
между общим поступлением N и общим выходом N (масса на единицу площади поверхности) является показателем избытка (или дефицита) N на уровне хозяйства.

9. Обычно, проводят различие между балансами "вход-выход" по N и бюджетами "вход-выход" по N. В балансах и бюджетах применяются одни и те же входные параметры; при этом основное различие заключается в том, что в балансах регистрируется выход N только в составе убранной/товарной продукции, в то время как в бюджетах регистрируется выход N из убранной/товарной продукции и потери из системы. Поэтому бюджеты обеспечивают полную регистрацию и учет всех потоков N.

10. Существуют различные способы составления балансов "вход-выход" по N, включая процедуры расчета валового баланса по N, баланса "на поверхности почвы", баланса "у ворот хозяйства" и баланса хозяйства (например, Watson and Atkinson, 1999; Schroder and others, 2003; O. Oenema, Kros and de Vries, 2003; OECD, 2008). В принципе в валовом балансе N и балансе "на поверхности почвы" регистрируется весь входящий N, поступающий на сельскохозяйственные угодья, и весь выход N в составе урожая культур, убранного с сельскохозяйственных земель. Однако в этих балансах по-разному учитывается N в навозе животных: валовой баланс N включает в себя общее количество N в экскрементах животных в качестве входного параметра, в то время как в балансе "на поверхности почвы" количество N в экскрементах животных корректируется на величину потерь NH_3 из навоза в животноводческих помещениях и навозохранилищах. В балансе "у ворот хозяйства" и балансе хозяйства регистрируется весь входящий и весь выходящий N, но при этом в балансе хозяйства учитываются поступления N через атмосферные выпадения (как восстановленные, так и окисленные соединения N) и биологическая фиксация N_2 . На уровне поля, хозяйства, района и страны могут применяться разные методы, но, чтобы улучшить сопоставимость, важно использовать стандартизированные форматы составления балансов и сообщать о применяемой методологии.

11. Наиболее сложный азотный бюджет имеют хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации (рис. AI.1). К основным источникам поступлений относятся минеральные/неорганические удобрения, ввозимый навоз животных, фиксация атмосферного N_2 некоторыми (в основном бобовыми) культурами, его выпадения из атмосферы, поступления с поливной водой и кормами для животных. Обычно незначительными источниками поступлений являются поступления с семенами и подстилкой для животных, хотя в последнем случае поступления могут быть значительными при некоторых традиционных системах содержания животных. К основным составляющим выхода относятся N, находящийся в составе растительных и животных продуктов, и N, содержащийся в вывозимом навозе. Газообразные потери происходят из навоза в помещениях для животных, в навозохранилищах, а также после его внесения на поля. Другие газообразные потери происходят с полей, из внесенных удобрений, растений, почвы и пожнивных остатков. Потери в поверхностные и грунтовые воды происходят путем выщелачивания или вымывания нитратов, аммония и растворенного органического азота (РОА). Может также происходить вымывание нерастворимого органического N.

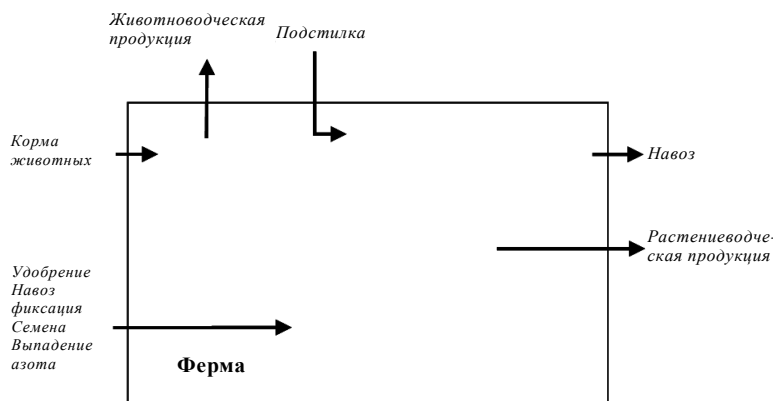
Рис. А1.1
**Азотный бюджет хозяйства смешанной специализации
 (растениеводство-животноводство)**



Источник: Jarvis and others, 2011.

12. Соответствующие элементы азотного баланса хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации показаны на рис. А1.2. Очевидно, что азотный баланс хозяйства намного проще азотного бюджета хозяйства, так как в азотный баланс не включены атмосферные потери N, и потери в грунтовых и поверхностных водах. Азотный баланс специализированного растениеводческого хозяйства или специализированного животноводческого хозяйства намного проще, чем баланс "у ворот хозяйства" хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации из-за меньшего количества параметров "входа" и "выхода" N.

Рис. А1.2
**Составляющие азотного баланса хозяйства смешанной специализации
 (растениеводство-животноводство)**

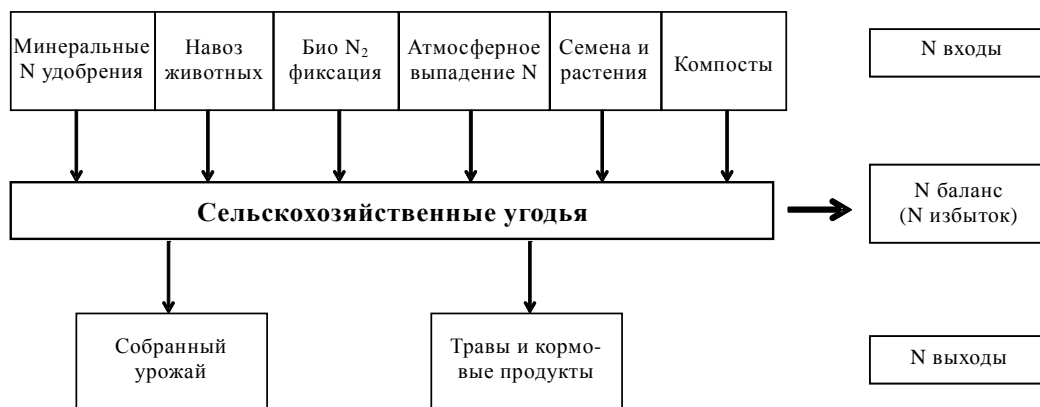


13. На рис. А1.3 представлен азотный баланс сельскохозяйственных угодий. Основными источниками поступлений N являются минеральные/неорганические удобрения, навоз, фиксация атмосферного азота некоторыми (в основном бобовыми) культурами и его атмосферные выпадения. Другие источниками поступления N могут быть твердые биологические отходы и такие органические почвоулучшатели, как компост и мульча. Поступления N с семенами и

компостом обычно бывают незначительными. Выходящий N содержится в основном в убранный растениеводческой продукции, которая может включать зерно или полученная растительная масса в целом. Следует отметить, что животные продукты, в дополнение к навозу, в балансе "на поверхности почвы" не отражаются, поскольку они на поверхность почвы не вносятся.

Рис. А1.3

Составляющие азотного баланса поверхностного слоя почвы сельскохозяйственного угодья



Источник: ОЭСР, 2008.

14. При использовании балансов N и коэффициента (эффективности) использования N (ЭИА) в качестве показателей в масштабах хозяйства следует проводить различие между:

- a) специализированными растениеводческими хозяйствами;
- b) хозяйствами смешанной специализации (растениеводческие-животноводческие);
- c) специализированными животноводческими хозяйствами.

15. Специализированные растениеводческие хозяйства имеют относительно немного источников выбросов NH_3 (возможно, привозной навоз, удобрения на базе мочевины и аммония, сельскохозяйственные культуры и пожнивные остатки). Эти хозяйства можно классифицировать по севообороту (например, по процентной доле зерновых, зернобобовых, овощных и корнеплодных культур). Специализированные животноводческие хозяйства производят только животные продукты (молоко, мясо, яйца, животные субпродукты и навоз), и все эти продукты вывозятся из хозяйства. Они могут также получать энергию путем гидролиза органического углерода. Эти хозяйства можно подразделять в соответствии с категорией животных (например, свиньи, птица и КРС). Смешанные хозяйства выращивают как сельскохозяйственные культуры, так и животных; выращиваемые культуры обычно скармливают животным, а навоз животных вносится на возделываемые поля. Такие хозяйства можно подразделять в соответствии с категорией животных (например, молочный скот, мясной скот, свиньи) и плотностью размещения животных (или самообеспеченностью кормами).

16. Колебания ЭИА (соотношения выходов/входов) и $N_{\text{изб}}$ (вход минус выход) между хозяйствами на практике значительны вследствие различий в методах управления и системе хозяйствования хозяйства (особенно в том, что касается видов сельскохозяйственных культур и животных, плотности размещения жи-

вотных и специализации). Ориентировочные диапазоны можно определить для широкого круга хозяйств разной специализации (см. таблицу А1.2).

17. Азотные балансы и соотношение "выход–вход" по N можно рассчитывать для отдельных подразделений хозяйства, особенно при смешанной сельскохозяйственной системе. Для оценки ЭИА можно рассматривать три следующих полезных компонента или уровня:

- a) конверсия N из кормов в животные продукты (ЭИА по кормам или ЭИА по животным);
- b) конверсия N навоза и удобрений в культуры (ЭИА по азоту/удобрениям);
- c) ЭИА по хозяйству в целом.

18. Эти значения ЭИА рассчитываются в процентах как отношение массы выхода N к массе входа N следующим образом:

- a) ЭИА корм. = $[(N \text{ в молоке, животных и яйцах}) / (N \text{ в кормах – грубых, сочных и комбикормах})] \times 100\%$;
- b) ЭИА навоза/удобрений = $[\text{усвоение N сельхозкультурами} / N, \text{ внесенный в составе навоза/удобрения}] \times 100\%$;
- c) ЭИА хозяйства в целом = $[\Sigma(N, \text{ вывозимый из хозяйства}) / \Sigma(N, \text{ ввозимый в хозяйство})] \times 100\%$.

Ориентировочные диапазоны ЭИА для молочных хозяйств показаны ниже в таблице А1.1.

Таблица А1.1

Ориентировочные значения поступления N и ЭИА для молочных хозяйств

Параметры "входа–выхода"	Диапазон значений входа по N	Диапазон значений ЭИА (%)	Источник
Корма – молоко (ЭИА по кормам)	512–666 г корова ⁻¹ день ⁻¹	26–33	Powell et al. (2006a)
	289–628 г корова ⁻¹ день ⁻¹	22–29	Kebreab et al. (2001)
	200–750 г корова ⁻¹ день ⁻¹	21–32	Castillo et al. (2000)
	496–897 г корова ⁻¹ день ⁻¹	21–36	Chase (2004)
	838–1 360 г корова ⁻¹ день ⁻¹	16–24	Aarts et al. (2000)
Навоз и удобрения – урожай и травы (ЭИА по навозу/ удобрениям)	359–749 кг/га ⁻¹	53–77	Aarts et al. (2000)
	нет данных	16–57	Beegle et al. (2008)
Вход по хозяйству – выход по хо- зяйству (ЭИА по всему хозяйству)	215–568 кг/га ⁻¹	14–55	Rotz et al. (2006)
	150–370 кг/га ⁻¹	39–47	Rotz et al. (2006)
	260–380 кг/га ⁻¹	23–36	Rotz et al. (2005)
	240–423 кг/га ⁻¹	34–46	Rotz et al. (1999)
	63–840 кг/га ⁻¹	8–55	Ovens et al. (2008)
нет данных	25–64	Histov et al. (2006)	

Источник: Powell, Rotz and Weaver, 2009.

19. Для оценки ЭИА по кормам или ЭИА по животным необходимо знать количество потребленных зеленых и грубых кормов и содержание N в них. Также нужно знать количество N в животных продуктах (протеин в молоке, мясе и яйцах). Для определения N в протеине молока, яйцах, а также живой и убойной массе и мясе КРС, свиней и птицы можно использовать дефолтные значения.

Таблица А1.2

Показатели избытка азота и эффективности его использования для хозяйств разной специализации с указанием характерных значений для специализированных растениеводческих хозяйств, специализированных животноводческих хозяйств и хозяйств смешанной специализации

Показатель	Расчет	Пояснения	Характерные уровни
$N_{изб}$ = сумма всех поступлений N за вычетом N, вывезенного из хозяйства, выражается в кг/га/год	$N_{изб} = \Sigma (\text{вход}_N) - \Sigma (\text{выход}_N)$	$N_{изб}$ зависит от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных, от местного поступления N, управления внешними поступлениями (через удобрения и корма для животных) и состояния окружающей среды – $N_{изб}$ – это показатель общих потерь N в окружающую среду – N нед. [$\Sigma (\text{вход}_N) < \Sigma (\text{выход}_N)$] – это показатель истощения N в почве – у специализированных животноводческих хозяйств (безземельных) избыток N может быть очень большим в зависимости, в том числе, от возможного выхода N при переработке и вывозе навоза	Зависят от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных: растениеводство: 0–50 кг/га: смешанные хозяйства: 0–200 кг/га животноводство: 0–1 000 кг/га
ЭИА = эффективность использования N, т.е. выход N с полезными продуктами, поделенный на общий вход N	$ЭИА = \Sigma (\text{выход}_N) / \Sigma (\text{вход}_N)$	– ЭИА зависит от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных, от местного поступления N, управления внешними поступлениями (через удобрения и корма для животных) и состояния окружающей среды – у специализированных животноводческих хозяйств (безземельных) возможен выход N при переработке и вывозе	Зависят от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных: растениеводство: 0,6–1,0 смешанное хозяйство: 0,5–0,6 животноводство: 0,2–0,6 ^a животноводство: 0,8–0,95 ^b

^a Вывоз навоза не производится.

^b Безземельные хозяйства; весь навоз вывозится за пределы хозяйства.

20. Для оценки ЭИА по навозу/удобрениям целесообразно провести различие между разными источниками поступления N. Показателем того, насколько эффективно N навоза, компоста и растительных остатков используется по сравнению с эталонным удобрением (обычно удобрение на основе NH_4NO_3), эффективность которого принимается за единицу (100%), является коэффициент N-эквивалентности удобрений (KNЭУ). Большая величина указывает на высокую эффективность использования N. Величина коэффициента N-эквивалентности зависит от вида навоза (твердый, полужидкий или жидкий) и его происхождения (КРС, свиньи, птица) и от временных рамок (год внесения и продолжительность воздействий). Она также зависит от вида сельскохозяйственной культуры и условий окружающей среды (типа почв, температуры, количества атмосферных осадков). Главным определяющим фактором для достижения большой величины коэффициента N-эквивалентности удобрений является практика управления, т.е. выбор времени и способа внесения. В таблице А1.3 представлены диапазоны величин коэффициента N-эквивалентности удобрений для навоза КРС, свиней и помета, полужидкого и жидкого навоза, встречавшиеся в литературе. Источники органического N обычно содержат значительную долю органически связанного N, который становится доступным для растущих культур только после минерализации. Поэтому различают краткосрочные (т.е. относящиеся к вегетационному периоду, следующему сразу после внесения источника органического N) и долгосрочные коэффициенты N-эквивалентности удобрений, при этом значения второй категории превышают значение первой категории коэффициентов. Некоторые источники органического N имеют только минеральный N и легкоминерализуемый органический N, а поэтому в данном случае между значениями краткосрочных и долгосрочных коэффициентов существенной разницы не наблюдается.

Таблица А1.3

Диапазоны значений краткосрочных и долгосрочных коэффициентов N-эквивалентности удобрений (KNЭУ) для вносимого навоза и растительных остатков, выраженных в процентах от эталонного удобрения – нитрата аммония

<i>Источники азота</i>	<i>Значения коэффициентов N-эквивалентности удобрениям, %</i>	
	<i>Краткосрочные</i>	<i>Долгосрочные</i>
Разделенный жидкий навоз КРС и свиней	70–100	70–100
Ферментированный жидкий навоз КРС и свиней	40–60	50–80
Жидкий навоз КРС	30–50	50–80
Жидкий свиной навоз	30–65	50–80
Жидкий помет	30–65	50–80
Твердый навоз КРС и свиней и твердый помет	20–40	40–60
Компосты на основе навоза КРС и свиней и помета	20–40	40–60
Моча и кал животных на выпасе	10–20	20–40
Пожнивные остатки с содержанием N более 2,5%	10–40	30–50
Пожнивные остатки с содержанием N 1,5–2,5%	0–30	20–40
Пожнивные остатки с содержанием N менее 1,5%	0	0–20

Источники: Berntsen and others, 2007; Bittman and others, 2007; Burton and Turner, 2003; Chadwick and others, 2000; Gutser and others, 2005; Hadas and others, 2002; Hart and others, 1993; Hatch and others, 2004; Janssen, 1984; Jenkinson and Smith, 1988;

Kolenbrander and De La Lande Cremer, 1967; Langmeier and others, 2002; MacDonald and others, 1997; Mosier, Syers and Freney, 2004; Nevens and Reheul, 2005; Rufino and others, 2006; Rufino and others, 2007; Schils and Kok, 2003; Schröder and others, 2000; Schröder and Stevens, 2004; Schröder 2005; Schröder, Jansen and Hilhorst, 2005; Schröder, Uenk and Hilhorst, 2007; Sommerfeldt, Chang and Entz, 1988; Sørensen, 2004; Sørensen and Amato, 2002; Sørensen, Weisbjerg and Lund, 2003; Sørensen and Thomsen, 2005; Van der Meer and others, 1987; Velthof and others, 1998.

Примечание: Навоз вносится традиционными низкоэмиссионными способами. Значения краткосрочных коэффициентов N-эквивалентности удобрений соотносятся с коэффициентами N-эквивалентности удобрений во время внесения в течение года внесения. Значения долгосрочных коэффициентов N-эквивалентности включают остаточные эффекты и предполагают неоднократное внесение удобрений в течение года.

21. В балансе по хозяйству в целом $N_{\text{изб}}$ и ЭИА в специализированных растениеводческих хозяйствах рассчитываются следующим образом:

$$N_{\text{изб}} = [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфер}} + N_{\text{семен}}] - [N_{\text{урожай}}] \quad [1];$$

$$\text{ЭИА}_{\text{раст.}} = [N_{\text{урожай}}] / [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфер}} + N_{\text{семен}}] \quad [2],$$

где

$N_{\text{изб}}$ = избыток N в масштабах хозяйства, кг/га;

$\text{ЭИА}_{\text{раст.}}$ = эффективность использования N в масштабах хозяйства, отношение массы к массе (безразмерная величина);

$N_{\text{удобрения}}$ = количество N, поступившего в хозяйство с ввезенными в него удобрениями, кг/га;

$N_{\text{навоз}}$ = количество N, поступившего в хозяйство с ввезенным в него навозом, кг/га;

$N_{\text{компост}}$ = количество N, поступившего в хозяйство с ввезенным в него компостом, кг/га;

БФА = количество N_2 , биологически фиксированного бобовыми культурами, кг/га;

$N_{\text{атмосфер}}$ = количество N из атмосферных осадков, кг/га;

$N_{\text{семен}}$ = количество N, поступившего с семенами и растениями, кг/га;

$N_{\text{урожай}}$ = количество нетто N в собранном урожае, вывезенном из хозяйства, включая остатки, кг/га.

22. Возможны дополнительные поступления N в хозяйство, например в результате автотрофной фиксации N_2 , а также в составе средств защиты растений, поливной воды, твердых биологических остатков, мульчи. Эти поступления обычно невелики по сравнению с вышеупомянутыми поступлениями, и их также трудно регулировать. Поэтому этими дополнительными поступлениями N часто пренебрегают. Однако, когда эти поступления образуют значительную процентную долю общего поступления (>10%), их следует учитывать в расчетах баланса. Это может относиться к хозяйствам, имеющим почвы с высоким органическим составом, в которых в результате чистой минерализации органически связанного N может высвобождаться 20–200 кг N в год в расчете на 1 га в зависимости от трофического состояния торфа и дренажных условий.

23. При более точном выражении эффективности использования N и избытка N в специализированных растениеводческих хозяйствах учитываются различия между коэффициентами N-эквивалентности удобрений для навоза, компоста и БФА, и тогда расчет производится следующим образом:

$$\text{ЭИА}_{\text{растен.}} = [N_{\text{урожай}}] / [N_{\text{удобрения}} + (N_{\text{навоз}} \times N\text{-ЭУн}) + (N_{\text{компост}} \times N\text{-ЭУк}) + (\text{БФА}) + N_{\text{атмосфер}} + N_{\text{семен}}] [7],$$

где

$N\text{-ЭУн}$ = коэффициент N-эквивалентности удобрений для навоза, кг/кг;

$N\text{-ЭУк}$ = коэффициент N-эквивалентности удобрений для компоста, кг/кг.

24. Для специализированных безземельных животноводческих хозяйств избыток N и ЭИА рассчитываются следующим образом:

$$N_{\text{изб}} = [N_{\text{корм}}] - [N_{\text{животные}} + N_{\text{навоз}}] [3];$$

$$\text{ЭИА}_{\text{животные}} = [N_{\text{животные}} + N_{\text{навоз}}] / [N_{\text{корм}}] [4],$$

где

$N_{\text{изб}}$ = избыток N в масштабах хозяйства, кг;

$\text{ЭИА}_{\text{животные}}$ = эффективность использования N в масштабах хозяйства, отношение массы к массе (безразмерная величина);

$N_{\text{корм}}$ = количество нетто N в кормах для животных, ввезенных в хозяйство, кг;

$N_{\text{животные}}$ = количество нетто N в животных, вывезенных из хозяйства (т.е. количество, включающее павших животных, скорректированное на ввезенных животных), кг;

$N_{\text{навоз}}$ = количество нетто N в навозе, вывезенном из хозяйства (включая остатки кормов), кг.

Возможны небольшие дополнительные поступления N в хозяйство, например с питьевой или моющей водой, подстилкой (подстилочный материал) и лекарственными препаратами, но эти поступления обычно невелики (<5%) по сравнению с упоминавшимися выше поступлениями, и в данном случае ими можно пренебречь.

25. Для хозяйств смешанной растениеводческо-животноводческой специализации избыток N и ЭИА рассчитываются следующим образом:

$$N_{\text{изб}} = [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{корм}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфер}} + N_{\text{семен}}] - [N_{\text{животные}} + N_{\text{урожай}} + N_{\text{навоз}}] [5];$$

$$\text{ЭИА}_{\text{смеш.}} = [N_{\text{животные}} + N_{\text{урожай}} + N_{\text{навоз}}] / [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{корм}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфер}} + N_{\text{семен}}] [6],$$

где

$N_{\text{изб}}$ = избыток N в масштабах хозяйства, кг/га;

$N_{\text{удобрения}}$ = количество N в удобрениях, ввезенных в хозяйство, кг/га;

$N_{\text{корм}}$ = количество N в кормах для животных, ввезенных в хозяйство, кг/га;

$N_{\text{навоз}}$ = количество N в навозе, ввезенном в хозяйство, кг/га;

$N_{\text{компост}}$ = количество N в компосте, ввезенном в хозяйство, кг/га;

БФА = количество N_2 , биологически фиксированного бобовыми культурами, кг/га;

$N_{\text{атмосфер}}$ = количество N из атмосферных осадков, кг/га;

$N_{\text{семена}}$ = количество N, поступившего с ввезенными семенами и растениями, кг/га;

$N_{\text{урожай}}$ = количество N в убранном урожае, вывезенном из хозяйства, включая остатки, кг/га;

$N_{\text{животные}}$ = количество N в животных, вывезенных из хозяйства (т.е. количество, включающее павших животных, скорректированное на ввезенных животных), кг;

$N_{\text{навоз}}$ = количество N в навозе, вывезенном из хозяйства, кг/га.

26. Совершенствование методов управления потоками N (и, соответственно, снижение потерь N) с течением времени обусловлено уменьшением со временем избытка N и повышением эффективности использования N. Таким образом, прогресс в управлении потоками N можно оценить путем мониторинга годового избытка N и эффективности использования N в масштабах хозяйства. Чтобы учесть годовые колебания погодных условий и случайные явления, рекомендуется рассчитывать пятилетние средние значения избытка N и ЭИА.

27. Относительную результативность методов управления потоками азота в хозяйствах можно оценивать путем сравнения с другими хозяйствами, показательными или экспериментальными. Целевые значения $N_{\text{изб}}$ и ЭИА для специализированных растениеводческих хозяйств можно устанавливать исходя из результативности передовых растениеводческих (экспериментальных/показательных) хозяйств, принимая во внимание почвенные факторы.

28. Сельскохозяйственные культуры различаются своей способностью усваивать N из почвы вследствие различий в степени развития корневой системы и продолжительности вегетационного периода. Злаковые растения (зерновые злаки и лугопастбищные культуры) имеют высокую усваивающую способность, а листовые овощи (салат-латук, шпинат) – низкую. Ориентировочные целевые значения $N_{\text{изб}}$ и ЭИА следует определять с учетом доли зерновых и лугопастбищных угодий в общей площади угодий хозяйства (например, по пяти классам: <25%; 25–50, 50–75, 75–90 и >90%) (таблица А1.4).

29. В случае специализированных растениеводческих хозяйств, выращивающих зерновые культуры на >90% площади и использующих в расчетах члены уравнения [7], относящиеся к поступлениям, и приведенные в таблице 3 коэффициенты N-эквивалентности удобрений, количество N в собранном урожае равно примерно общим фактическим поступлениям N, причем ЭИА_{урожай} может достигать 100%. Однако ЭИА_{урожай} снижается при растущем поступлении N, негативном воздействии вредителей и ограниченном поступлении других питательных веществ; проблема заключается в том, чтобы найти оптимальную норму внесения азотных удобрений, при которой урожай, качество урожая и ЭИА будут высокими, а избыток N – низким. При сокращении относительной площади под зерновыми в севообороте целевой показатель ЭИА будет снижаться, а избыток N – увеличиваться, в зависимости, в том числе, от фактического поступления N (таблица А1.4). Избыток N и показатель ЭИА также зависят от обращения с пожнивными остатками: уборка и удаление пожнивных остатков повышают ЭИА и снижают избыток N, особенно в краткосрочном плане. Однако

удаление пожнивных остатков может в конечном итоге привести к сокращению запасов органического вещества и N в почве. Следует обратить внимание на то, что ЭИА и избыток N связаны обратно пропорционально (таблица А1.4). Однако дело не всегда обстоит именно так: возможны ситуации, когда повышение ЭИА сопровождается небольшим увеличением избытка N.

Таблица А1.4

Ориентировочные значения эффективности использования азота (ЭИА) и избытка N в специализированных растениеводческих хозяйствах при умеренном и значительном поступлении N в зависимости от процентной доли зерновых культур в севообороте

Зерновые культуры, %	Умеренные поступления N			Значительные поступления N		
	ЭИА (%)	Избыток N, кг/га/год		ЭИА (%)	Избыток N, кг/га/год	
		50 кг/га/год	100 кг/га/год		150 кг/га/год	200 кг/га/год
90–100	100	0	0	80	30	40
75–90	95	2,5	5	75	37,5	50
50–75	90	5	10	70	45	60
25–50	80	10	20	60	60	80
<25	70	15	30	50	75	100

30. ЭИА в специализированных животноводческих хозяйствах и хозяйствах смешанной специализации частично зависит от "неизбежных" газообразных потерь N навоза в животноводческих помещениях и в навозохранилищах вследствие улетучивания NH_3 и в результате процессов нитрификации-денитрификации. Неизбежные потери N – это потери N, которые имеют место при применении наилучших имеющихся методов (НИМ). Целевые значения ЭИА_{животные} должны рассчитываться на основе следующего уравнения:

$$\text{целевая ЭИА}_{\text{животные}} = [\text{N}_{\text{животные}} + (\text{N}_{\text{эксcretированный}} - \text{потери N}_{\text{навоз}})] / [\text{N}_{\text{корм}}] \quad [8],$$

где

целевая ЭИА_{животные} = эффективность использования N на уровне хозяйства, отношение массы к массе (безразмерная величина);

$\text{N}_{\text{животные}}$ = количество нетто N животных, вывезенных из хозяйства (т.е. количество, включающее павших животных, скорректированное на вывезенных животных), кг;

$\text{N}_{\text{корм}}$ = количество нетто N корма для животных, ввезенного в хозяйство, кг;

$\text{N}_{\text{эксcretированный}}$ = количество N, экскретированного животными в период содержания в закрытом помещении, кг;

потери $\text{N}_{\text{навоз}}$ = неизбежные потери N из навоза в животноводческих помещениях и в навозохранилищах вследствие улетучивания NH_3 и в результате процессов нитрификации-денитрификации, кг;

$\text{N}_{\text{эксcretированный}} - \text{потери N}_{\text{навоз}}$ = количество N в навозе, вывезенном из хозяйства.

31. Значения потерь $N_{\text{навоз}}$ зависят от системы содержания животных, систем утилизации навоза и практики хозяйствования. Для крупного рогатого скота и свиней при круглогодичном содержании в помещениях с системами удаления жидкого навоза в крытые навозохранилища потери $N_{\text{навоз}}$ составляют порядка 5–20% от количества N навоза, выделяемого с экскрементами в период их содержания в закрытом помещении; при этом низкоэмиссионная система содержания (и система с привязным содержанием) характеризуется более низкими значениями, а в помещениях с частично шелевыми полами выбросы будут выше, однако эти потери N навоза зависят также и от климатических условий (Amon and others, 2001; Monteny and Erisman, 1998; O. Oenema and others, 2008). Если животные находятся в закрытом помещении только в зимнее время, выход N с экскрементами в этот период будет меньше, а потери $N_{\text{навоз}}$ на одно животное также будут ниже. Потери $N_{\text{навоз}}$ из помещений для животных с системами удаления твердого навоза обычно бывают выше (20–40% при круглогодичном содержании) вследствие более значительных потерь в результате итрификации-денитрификации при хранении навоза.

32. В птицеводстве потери $N_{\text{помет}}$ находятся в диапазоне от 10% до 50% экскретированного N , при этом низкоэмиссионным системам содержания соответствуют более низкие значения, в то время как в птичниках с глубокими пометосборниками и напольными системами содержания на подстилке без очистки скрубберами и удержания NH_3 из удаляемого воздуха значения таких потерь бывают более значительными (Groot Koerkamp and Groenestein, 2008).

33. ЭИА в специализированных животноводческих хозяйствах растет по мере удержания N кормов и снижения "неизбежных газообразных потерь N " (таблица А1.5, рис. А1.4). Удержание N кормов зависит от вида и продуктивности животных и их кормления. "Неизбежные газообразные потери N " зависят от системы содержания животных и утилизации навоза, в частности от применения низкоэмиссионных систем его утилизации. Таким образом, в специализированных животноводческих хозяйствах ЭИА в очень значительной степени определяется газообразными потерями N , включая потери вследствие улетучивания NH_3 ; она является комплексным показателем управления потоками N .

Таблица А1.5

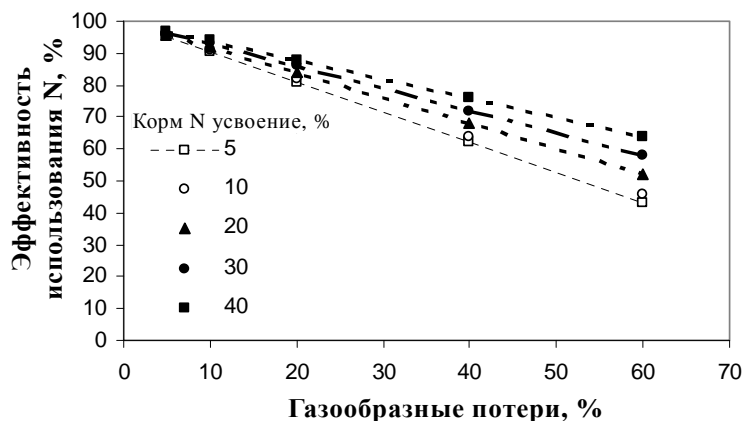
Рассчитанная эффективность использования N в специализированных животноводческих хозяйствах в зависимости от удержания N кормов и процентная доля "неизбежных потерь N " в период содержания животных в помещениях и хранения навоза (в соответствии с уравнением [8])

<i>"Неизбежные потери N" в % от экскретированного N</i>					
<i>Удержание N кормов (%)</i>	5	10	20	40	60
5	95	91	81	62	43
10	96	91	82	64	46
20	96	92	84	68	52
30	97	93	86	72	58
40	97	94	88	76	64

Примечание: Предполагается, что все животные продукты, включая навоз, вывозятся из хозяйства.

Рис. А1.4

Рассчитанная эффективность использования N в специализированных животноводческих хозяйствах в зависимости от удержания N кормов в процентах и процентная доля "неизбежных потерь N" в период хранения навоза – в соответствии с уравнением [8]



Примечание: Предполагается, что все животные продукты, включая навоз, вывозятся из хозяйства.

34. Индикаторами, применяющимися для оценки нагрузки N на окружающую среду и эффективности использования азотных ресурсов, являются соответственно баланс азота для всего хозяйства и эффективность использования N. Некоторые страны (например, Дания и Нидерланды) использовали и используют балансы N и избыток N в качестве комплексных инструментов регулирования, снижающих потери N в окружающую среду. Однако опыта использования $N_{\text{избыт}}$ и ЭИА в качестве конкретных показателей для борьбы с выбросами NH_3 еще не хватает. В то же время существуют убедительные теоретические, а также эмпирические данные, свидетельствующие о том, что повышение ЭИА связано со снижением потерь N на единицу продукции. Аналогичным образом, повышение ЭИА в животноводческих хозяйствах и хозяйствах смешанной специализации, как правило, сопровождается снижением потерь NH_3 на единицу продукции, что видно на примере Дании (Mikkelsen and others, 2010; Nørregaard Hansen and others, 2008; Anonymous, 2008).

35. Опыт Дании и Нидерландов показывает, что большинство фермеров способны легко понять суть баланса N и показателей ЭИА, а также в состоянии составлять балансы N и определять показатели ЭИА на основе записей документального учета и стандартных значений содержания N в различных продуктах. Однако полезную роль могут сыграть обучение и участие сельхозпроизводителей в дискуссионных группах. С другой стороны, балансы N и ЭИА могут составляться бухгалтерами – опять-таки на основе записей документального учета и стандартных значений содержания N в различных продуктах. Годовые затраты на составление балансов N и показателей ЭИА в расчете на одно хозяйство составляют 200–500 евро.

36. В общих чертах можно выделить три стратегии/технологии повышения ЭИА и снижения избытка N: а) увеличение выхода N путем повышения урожайности культур и продуктивности животных при сохранении поступлений N на более или менее постоянном уровне, б) уменьшение поступлений N в составе азотных удобрений и приобретаемых кормов для животных при сохранении урожайности культур и продуктивности животных, а также выхода N на более

или менее постоянном уровне и с) снижение потерь N путем применения азот-сберегающих технологий (низкоэмиссионные методы, покровные культуры, выбор оптимальных сроков внесения N и т.д.) и сбережения вводимого N при сохранении выхода N на более или менее постоянном уровне. Последняя из упомянутых стратегий частично соотносится с другими мерами, предусмотренными в приложении IX к Гётеборгскому протоколу: акцент в ней делается на получении выгоды от сбереженного N путем повторного использования этого N и посредством одновременного снижения поступлений N. Наилучшие результаты достигаются, если сокращение потерь будет сопровождаться уменьшением поступлений N, что приведет к сокращению эксплуатационных затрат и увеличению выхода N, необходимого для получения прибыли. Поэтому подход к снижению избытка N и повышению ЭИА должен быть адаптирован к конкретным хозяйствам; единого подхода, который можно было бы применять к хозяйствам всех специализаций, не существует.

37. В растениеводстве накоплен обширный объем открытой информации о повышении ЭИА и снижении избытка N. Так, различные учреждения и компаниями – производителями удобрений разработали четкие руководящие принципы. Для обеспечения эффективного и действенного использования минеральных удобрений хорошо понятные и легко доступные руководящие принципы и видеоматериалы разместил на своем веб-сайте Международный институт питания растений (МИПР) (<http://www.ipni.net/4r>). Наилучшая практика применения удобрений известна как концепция руководства по управлению питательными веществами "4R", которая расшифровывается как применение нужного источника в нужном количестве, в нужное время и в нужном месте. Ее можно применять для управления питательными веществами сельхозкультур вообще (включая органические источники) или удобрениями в частности. Эта концепция может помочь сельхозпроизводителям и населению понять, как правильная практика обращения с удобрениями способствует достижению целей обеспечения устойчивости сельского хозяйства. Короче говоря, концепция руководства по управлению питательными веществами "4R" предполагает вовлечение растениеводов и их консультантов в отбор правильного сочетания источников, нормативного времени и места внесения на основе практики, одобренной на основе исследований ученых-агрономов. Цели экономического, экологического и социального прогресса устанавливаются субъектами, заинтересованными в использовании систем растениеводства, и находят отражение в отбираемых ими показателях результативности. Все они рассматриваются как относящиеся к методам категории I. Основным препятствием для повышения ЭИА сельхозкультур остается непредсказуемость погоды, а к другим факторам относятся вредители растений, малопродуктивные почвы и т.д.

38. Повышение ЭИА и снижение избытка N в хозяйствах смешанной специализации обуславливают осуществление мер и мероприятий, необходимых для их растениеводческих (например, упомянутая выше концепция "4R"), и животноводческих подразделений (кормление и содержание животных и уход за ними), а также мер и мероприятий, связанных с хранением и утилизацией навоза.

39. Эмпирические данные об материальных затратах на повышение ЭИА и о прямых экономических издержках снижения избытка N немногочисленны. Рассчитать прямые материальные затраты тоже непросто: для этого требуется надлежащее планирование мероприятий, которые включаются в "управление потоками азота с учетом полного азотного цикла". Кроме того, следует различать прямые и косвенные затраты. Прямые затраты связаны с мероприятиями, необходимыми для повышения ЭИА и снижения избытка N, например с отбором

высокопродуктивных сортов культур и пород животных, более точным определением соответствия поступлений N и потребностям в нем. Согласно оценкам, эти затраты находятся в диапазоне от –1 до +1 евро на кг сохранения N. Косвенные затраты связаны с улучшением обучения сельхозпроизводителей, увеличением массива доступных данных и информации за счет отбора проб и проведения анализов, а также благодаря ведению документационного учета. Косвенные затраты превышают прямые затраты, хотя часть этих затрат будет возмещена за счет более высоких урожаев и повышения качества.

Приложение II

Технологии кормления сельскохозяйственных животных

А. Соображения общего порядка

1. В реальной жизни содержание протеина в кормах нередко превышает действительно необходимое. Безопасные пределы содержания белка в рационе устанавливаются с учетом а) субоптимального соотношения аминокислот; б) различий в потребностях животных разных генотипов; в) различных потребностей, обусловленных принадлежностью к разным половозрастным группам; и д) изменений в фактическом содержании и усвояемости основных аминокислот в рационе. Содержание протеина в рационе и, соответственно, экскреция N могут быть снижены путем максимально возможного приближения содержания белка/аминокислот в рационе к потребностям животного.

2. Та часть корма, которая не была переварена, усвоена и осталась в организме животного, выделяется с калом и мочой. Избыток N в корме выделяется в форме протеина (органически связанного N), мочевины, мочевой кислоты и аммония. Распределение N по всем этим компонентам вместе с pH кала и мочи оказывают влияние на потенциальную возможность потерь NH_3 .

3. Вследствие различий в кормлении животных состав кала и мочи у молочного скота, свиней на заключительной стадии откорма и молодняка птицы сильно различается. В таблице АП.1 представлены диапазоны значений, заимствованные из публикаций (Canh et al., 1998a; 1998b; Bussink and Oenema, 1998; Whitehead, 2000).

Таблица АП.1

Диапазоны N-содержащих компонентов в кале и моче некоторых видов животных

Категория животных	Сухое вещество (г/кг)	Общий N (г/кг кала/мочи)	N мочевины, % от общего N	N мочевой кислоты		
				(% от общего N)	N белка (% от общего N)	N аммония (% от общего N)
Молочный скот						
кал	100–175	10–17	0	0	90–95	1–4
моча	30–40	4–10	60–95	0–2	0	1
Свиньи на заключительной стадии откорма						
кал	200–340	8–10	0	–	86–92	8–14
моча	30–36	4–7	70–90	–	10–20	2–10
Цыплята	200–300	10–20	5–8	35–50	30–50	6–8

4. Поскольку потери NH_3 связаны с содержанием аммония, мочевины и мочевой кислоты в моче и кале, основными вариантами воздействия на потенциал выбросов NH_3 посредством кормления животных являются следующие варианты (рис. АП.1):

а) снижение содержания аммония, мочевины и мочевой кислоты в моче и кале путем:

- i) уменьшения потребления СП;
- ii) увеличения потребления некрахмальных полисахаридов (что смещает экскрецию N от мочевины/мочевой кислоты в моче к белку кала);

б) снижение рН навоза путем:

- i) снижения рН кала;
- ii) снижения рН мочи;

с) снижение активности уреазы и, соответственно, концентрации аммония в навозе.

5. Содержание аммония в навозе (кал + моча), которые образуются в результате гидролиза мочевины и анаэробной ферментации белка в навозе, может быть рассчитано следующим образом (Aarnink, van Ouwerkerk and Verstegen, 1992):

$$[\text{NH}_4^+] = (\text{dc} \cdot \text{P}_f - \text{P}_r + \text{adc} \cdot (1 - \text{dc}) \cdot \text{P}_f) / (\text{M}_m),$$

где

dc = коэффициент видимой перевариваемости белка;

P_f = белок в корме;

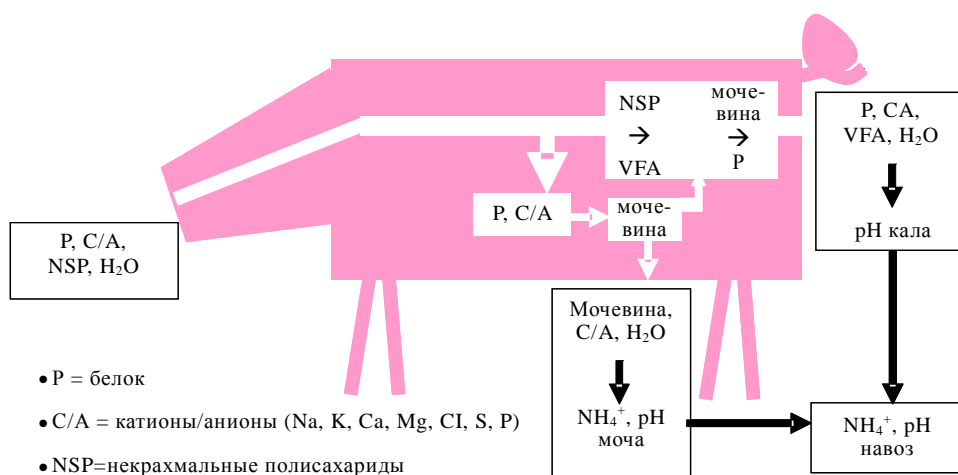
P_r = удержание белка;

adc = коэффициент анаэробной ферментации для белка в навозе;

M_m = масса навоза.

Рис. АП.1

Схема основных факторов рациона животных (содержание белка, соотношение анионов и катионов и содержание некрахмальных полисахаридов), которые влияют на содержание мочевины и аммония и уровень рН мочи и кала, выделяемых животными



Источник: Aarnink and Verstegen, 2007.

6. Показатели рН мочи и навоза можно рассчитать путем построения полного катионно-анионного баланса. В этих расчетах необходимо также учитывать концентрацию аммония и углекислого аммония.

7. Технологии кормления животных могут оказывать влияние на рН кала и мочи. Показатель рН кала можно понизить, если активизировать сбраживание в толстом кишечнике. Это повышает содержание летучих жирных кислот в кале и обуславливает более низкий уровень рН. Уровень рН мочи можно понизить путем снижения водно-солевого баланса ($\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$) рациона (Patience, Austic and Boyd, 1987). Кроме того, рН мочи можно снизить, если добавить в рацион подкисляющие компоненты, например сульфат кальция (CaSO_4), бензоат кальция, бензойную кислоту. Низкий показатель рН выделяемых кала и мочи приводит к низкому значению рН жидкого/твердого навоза, как во время хранения, так и после его хранения в течение определенного периода. Такое влияние рН может значительно сократить выбросы NH_3 из жидкого навоза при хранении, а также после его внесения. Факт такого его влияния нашел свое подтверждение, особенно применительно к свиньям (Aarnink and Verstegen, 2007; Canh et al., 1998a; Canh et al., 1998c; Canh et al., 1998d; Canh et al., 1998e).

8. В зависимости от ферментативной активности мочевины и мочевиная кислота гидролизуются в аммоний, и обычно этот процесс длится от нескольких часов до нескольких дней. Минерализация органического N (непереваренного белка) кала – это медленный процесс. При температуре 18 °C для минерализации 43% органического азота свиного навоза в аммиак требуется 70 дней (Spoelstra, 1979). Поэтому у крупного рогатого скота и свиней при сдвиге экскреции N с мочой в сторону экскреции с калом экскреция N через белок (органически связанный азот) увеличивается, а экскреция N через мочевины, мочевую кислоту и аммоний снижается. В результате выбросов NH_3 из мочи сокращается (при этом выбросы NH_3 из кала не возрастают).

9. Ключевыми для достоверности эффективности конверсии корма в животный продукт являются два показателя. Они определяются ниже:

а) Потребность в СП (часто рассчитывается как содержание N, умноженное на 6,25), пересчитанная в виде доли СВ корма. Этот показатель зависит от вида животных, типа производства, перевариваемости СВ корма и качества (соотношения аминокислот), содержащихся в СП. Информацию об этом показателе для концентрированных кормов обычно предоставляет компания – производитель кормов. Для грубых кормов, особенно пастбищных, этот показатель получить труднее, но полезным индикатором в этом отношении может быть высота травостоя (ВТС): чем она выше, тем ниже содержание протеина. Однако с повышением ВТС усвояемость травы может снижаться.

б) Эффективность использования N ($\text{ЭИА} = \text{AY}_N/\text{F}_N$), где AY_N – масса N в животных продуктах (в кг), F_N – масса N в потребленном корме (кг). Этот показатель требует информации о содержании N в животных продуктах и кормах. В последние годы эти данные широко представлены в табличной форме в различных документах.

10. Производство продукции животноводства (молока, мяса, яиц) невозможно без удовлетворения прежде всего потребностей животных в питательных веществах с целью поддержания их физиологического состояния. Необходимые для этого уровни протеина в рационе гораздо ниже, чем те, которые нужны для синтеза животных продуктов. Вследствие этого оптимальные уровни соотношения СП/СВ корма меняются в зависимости от пропорции потребленных питательных веществ, которые необходимы для поддержания физиологического состояния. У медленно растущих животных, например, у ремонтного молодняка

крупного рогатого скота, этот показатель является наибольшим, а у быстро растущих животных, например у бройлеров – наименьшим.

В. Технологии кормления жвачных животных (особенно молочного и мясного скота)

11. В конечном итоге ЭИА в молочном животноводстве ограничивается биологической способностью коров преобразовывать N кормов в молоко и биологической способностью сельскохозяйственных культур и пастбищ преобразовывать N внесенного навоза и N удобрений в зерно, зеленые корма и другие продукты растениеводства. Однако несоответствие между достигнутой производительностью реальной ЭИА и теоретической ЭИА указывает на то, что во многих товарных молочных хозяйствах можно добиться значительного повышения (например, Van Vuuren and Meijs, 1987). Несмотря на то, что производители мало что могут поделать с биологическими ограничениями использования N, помочь значительно повысить ЭИА, прибыльность хозяйств и улучшить экологические показатели молочного животноводства могут такие методы, как обеспечение надлежащей плотности поголовья и оптимизация норм внесения N с навозом, а также нижеследующие рекомендации относительно того, как избежать необоснованных потерь (Powell, Rotz and Weaver, 2009).

12. Эффективной стратегией категории 1 по снижению потерь NH_3 является снижение содержания СП в рационе жвачных животных. В этой связи действуют следующие руководящие принципы (таблица АП.2):

а) среднее содержание СП в рационе молочного скота не должно превышать 150–160 г/кг СВ (Broderick, 2003; Svenson, 2003). Для мясного скота старше шести месяцев оно может быть снижено еще до 120 г/кг СВ;

б) фазовое кормление может быть организовано таким образом, чтобы содержание СП в рационе молочного скота перед отелом, и в период ранней лактации постепенно снижалось со 160 г/кг СВ непосредственно до 140 г/кг СВ и менее в период поздней лактации и основной части сухостойного периода;

в) фазовое кормление можно применять и для мясного скота таким образом, чтобы содержание СП в рационе постепенно снижалось со временем со 160 г/кг СВ до 120 г/кг СВ.

Таблица АП.2

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина (СП) в г на кг сухой массы рациона и достигнутая в результате эффективность использования N (ЭИА) в массовых долях (кг/кг) для КРС

<i>Критерии КРС</i>	<i>СП (г/кг)</i>	<i>ЭИА (кг/кг)</i>
Молоко + поддержание физиологического состояния, ранняя лактация	150–160	0,30
Молоко + поддержание физиологического состояния, поздняя лактация	120–140	0,25
Ремонтные животные	130–150	0,10
Телята	170–190	0,45
КРС <3 месяцев	150–160	0,30
КРС 3–18 месяцев	130–150	0,15
КРС >18 месяцев	120	0,05

13. Во многих частях мира основными формами скотоводства являются пастбищное или отгонно-пастбищное животноводство. В таких системах трава и травяные корма, имеющие высокое содержание СП, составляют значительную долю рациона, и ввиду высокого содержания СП в траве культурных пастбищ достичь целевых значений содержания СП, указанных в таблице АП.2, похоже, будет трудно. Содержание СП в свежей траве в период выпаса (2 000–2 500 кг СВ на га) часто находится в пределах 180–200 г/кг; содержание СП в силосе часто колеблется от 160 до 180 г/кг, а в сене – от 120 до 150 г/кг (например, Whitehead, 2000). Для сравнения можно отметить, что содержание СП в кукурузе составляет всего лишь около 70–80 г/кг. Таким образом, травяные рационы часто содержат избыток протеина, и в результате высокая экскреция N сильно зависит от доли травы, травяного силоса и сена в рационе, а также от содержания протеина в этих кормах. Избыток протеина и происходящая в результате экскреция N, а также потери NH₃ будут наиболее высокими в случае летних рационов, основанных на одной траве, при выпасе на молодой и интенсивно удобренной траве или смеси травы с бобовыми культурами. Однако моча, выделяемая животными на выпасе, обычно впитывается в почву, не приводя к значительным выбросам NH₃, а поэтому общие выбросы NH₃ на одно животное при выпасе будут меньше, чем у животных при стойловом содержании, когда экскременты собираются, хранятся, а затем вносятся в почву.

14. Снижение выбросов NH₃, достигнутое путем увеличения периода выпаса, зависит от базового уровня (выбросы от животных, содержащихся в помещении), от времени, в течение которого животные находятся на выпасе, и от содержания N в удобрениях, внесенных на пастбище. Возможность увеличения сроков выпаса часто сдерживается типом почв, рельефом местности, размером хозяйства, его структурой (расстояниями), климатическими условиями и т.д. Следует отметить, что выпас животных может приводить к увеличению выбросов N в других формах (например, N₂O, NO₃). Однако следует иметь в виду, что увеличение периода, в течение которого животные находятся на выпасе (целый день), оказывает прямое и явно выраженное в количественном отношении воздействие на выбросы NH₃, а поэтому его можно рассматривать как стратегию снижения выбросов категории 1. Реальный потенциал снижения выбросов зависит от базовой ситуации в отдельном животноводческом секторе каждой отдельной страны. Эффект от изменения периода неполного стойлового содержания (например, выпас только в дневное время) выражен не столь определенно, и поэтому соответствующая стратегия относится к категории 2. Переход от полностью стойлового содержания к выпасу в течение части дня с точки зрения снижения выбросов NH₃ менее эффективен, чем переход на круглосуточное содержание животных на выпасе (24 часа), поскольку загрязненные здания и хранилища по-прежнему остаются источником выбросов NH₃. Предполагается, что регулирование выпаса (загонный выпас, ротационный выпас, постоянный выпас) значительного дополнительного влияния на потери NH₃ не оказывает, а поэтому данная стратегия относится к категории 3.

15. Стратегией категории 1 в целом является повышение соотношения энергетической ценности и протеина в рационе за счет использования более "старой" травы (с большей ВТС) и/или дополнение травы высококалорийными кормами (например, кукурузным силосом). Однако для систем скотоводства, основанных на пастбищном содержании, осуществимость этих стратегий может быть ограничена, поскольку старая трава способна снижать качество кормления, особенно тогда, когда условия препятствуют выращиванию высококалорийных кормов, и поэтому их приходится закупать. Следовательно, полное использование травяных кормов (в условиях ограниченного производства, напри-

мер при наличии квот на молоко или ограничений по плотности поголовья) не может быть гарантировано. Поэтому улучшение белково-энергетического баланса в хозяйствах, основанных на пастбищном содержании животных и не имеющих возможности выращивать высококалорийные корма, рассматривается как стратегия категории 2.

16. Рекомендуется использовать современные способы оценки протеина (например, PDI во Франции, MP в Великобритании, DVE/OEB в Нидерландах и AAT/PBV в скандинавских странах) (см., например, Van Duinkerken et al., 2011a). В молочном животноводстве полезным для достижения оптимального баланса аминокислот в белке, который усваивается из тонкого кишечника, может быть применение лимитирующих аминокислот, таких как лизин и метионин, которые защищены от переваривания в рубце. Поскольку для успешного внедрения этого метода нужна дополнительная подробная информация о ферментации корма в кишечном тракте, этот метод классифицируется как стратегия категории 2.

17. Сдвиг экскреции N от мочевины мочи к белку кала также является эффективной мерой по снижению потерь NH_3 . Состав рациона должен быть таким, чтобы в определенной степени стимулировать ферментацию в кишечнике, не нарушая при этом ферментацию в рубце. Это будет способствовать сдвигу экскреции N от мочи к калу. Стимулировать ферментацию в кишечнике можно путем включения в рацион крахмала или поддающейся ферментации клетчатки, которые устойчивы к воздействию микрофлоры рубца и не сбрасываются в рубце (Van Vuuren et al., 1993). Поскольку в кишечнике присутствует больше ацетогенных, чем метанпродуцирующих бактерий, риск повышенных потерь CH_4 невелик. Знания факторов, способствующих сдвигу экскреции N от мочевины мочи к белку кала, пока являются недостаточными, поэтому данный подход классифицируется как стратегия категории 3.

18. Показатели pH свежей мочи колеблются в пределах 5,5–8,5 и в основном зависят от содержания электролитов в рационе. Хотя pH со временем поднимется до щелочных значений из-за гидролиза мочевины независимо от исходного показателя pH, от исходного показателя pH и буферной способности мочи зависит скорость улетучивания NH_3 из мочи сразу же после мочеиспускания. Снижение показателя pH мочи жвачных животных теоретически возможно. Однако он зависит от объема мочи, продуктивности жвачных животных и состояния их здоровья, а поэтому этот метод относится к категории 3. Точно так же, теоретически возможно и снижение pH кала, но оно вполне может совпасть с нарушением ферментации в рубце, а поэтому не рекомендуется. В связи с возможными побочными эффектами данный метод отнесен к категории 3. Для мониторинга адекватности ферментации в рубце можно руководствоваться консистенцией кала.

19. Проследить за статусом белка можно при помощи (рассчитанного) баланса расщепляемого в рубце протеина (например, по системе оценки PBV в скандинавских странах и OEB в Нидерландах), и наряду с этим или вместо этого можно также использовать оценку N мочевины в молоке (AMM) (Van Duinkerken et al., 2011b). Предпочтительно, чтобы N мочевины в молоке не превышал 10 мг/дл (содержание мочевины в молоке ниже 22 мг/дл). Знания факторов, от которых зависят колебания значений N мочевины в молоке, пока еще являются недостаточными, поэтому данный подход классифицируется как стратегия категории 2.

20. Для снижения выбросов NH_3 можно также использовать методы содержания стада. Во-первых, снижения можно достичь путем повышения генетиче-

ского потенциала коров (повышение удоев молока на одну корову). Это приведет к более высокой ЭИА на уровне стада вследствие более низкой калорийности, необходимой для поддержания физиологического состояния. При равном общегодовом удое на страну число молочных коров и ремонтного скота будет соответственно сокращаться. Во-вторых, этого можно достичь путем увеличения числа лактаций на корову. В результате будет сокращено число ремонтных животных. И наконец, следует оптимизировать реальное число ремонтных животных на одну молочную корову. Все три варианта представляют собой долгосрочные решения, но, тем не менее, они являются методами снижения общих выбросов NH_3 категории 1. Кроме того, эти стратегии могут положительно влиять на благополучие животных, и весьма вероятно, они будут также содействовать снижению выбросов CH_4 в результате кишечной ферментации, особенно если их выразить в виде выбросов на единицу произведенного молока (Tamminga, 1996; Kebreab and others, 2001; Powell, Rotz and Weaver, 2009).

21. Снизить выбросы NH_3 и улучшить использование N навоза по сравнению с обычной практикой сбора стойлового навоза и внесения его на поля может ротационный выпас жвачных животных на посевных площадях в загонах (Powell and Russelle, 2009). Общие результаты показали, что содержание молочного скота в загонах на посевных площадях улучшает улавливание N мочи, снижает потери NH_3 и расширяет возможности повторного использования N через сельскохозяйственные культуры. Этот метод можно рассматривать как стратегию категории 2.

22. Снизить экскрецию N мочи молочного скота, содержащегося в помещениях, можно с помощью различных технологий кормления. Точное соответствие рационов потребностям животных в питательных веществах, скармливание только такого количества преобразующегося в ходе обмена веществ протеина, какое нужно коровам, уменьшение размера частиц корма для улучшения переваривания в рубце мелкозернистого крахмала и увеличения образования микробного белка (при условии, что не подавляется pH рубца) – все это оптимизирует синтез микробного белка, делает максимальной конверсию N корма в молоко и минимизирует экскрецию N мочи. Эту стратегию можно рассматривать как стратегии категории 2.

С. Технологии кормления свиней

23. Меры, связанные с кормлением в свиноводстве, включают фазовое кормление, составление рационов, основанных на сочетании легкоусваиваемых/доступных питательных веществ, использование низкопротеиновых и дополненных аминокислотами рационов и применение кормовых добавок/дополнителей. Все они рассматриваются как методы категории 1. В настоящее время проводятся исследования и по другим методам, которые могут стать доступными в будущем (например, разные корма для самцов (хряков и боровов) и свиноматок).

24. Фазовое кормление (разный состав кормов для разных возрастных и производственных групп животных) является рентабельным способом снижения экскреции N у свиней и может быть внедрено в краткосрочной перспективе. Многофазовое кормление зависит от наличия автоматизированного оборудования на базе компьютеров.

25. Содержание СП в рационе свиней можно снизить, если оптимизировать поступление аминокислот путем добавления синтетических аминокислот (например, лизина, метионина, треонина и триптофана) или специальных кормо-

вых компонентов, используя наилучшую доступную информацию об "идеальном протеине" в сочетании с информацией о разных добавках к рациону.

26. В зависимости от производственной группы свиней и текущего исходного уровня можно достичь снижения содержания СП в корме на 2–3% (20–30 г/кг корма). В таблице АП.3 представлен полученный диапазон содержания СП в рационе. Значения, приведенные в таблице, являются ориентировочными целевыми уровнями, и, возможно, их необходимо будет адаптировать к местным условиям.

Таблица АП.3

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина в кормах для рационов свиней

<i>Категории животных</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание сырого белка, (%)^a</i>
Отъемыши	<10 кг	19–21
Поросята	<25 кг	17–19
Свиньи на откорме	25–50 кг	15–17
	50–110 кг	14–15
	>110 кг	12–13
Свиноматки	Супоросные	13–15
	В период лактации	15–17

Источник: БРЕФ-НИМ Европейской комиссии, 2003.

^a При условии поступления правильно сбалансированных и оптимально усваиваемых аминокислот.

27. У поросят на дорастивании и заключительной стадии откорма на каждые 10 г/кг снижения содержания СП в рационе можно получить 10-процентное сокращение содержания общего аммонийного азота (ОАА) в свином навозе и 10-процентное сокращение выбросов NH₃ (Canh et al., (1998b)). В настоящее время наиболее распространенный показатель содержания СП в рационе поросят на дорастивании и заключительной стадии откорма составляет примерно 170 г/кг. Опытным путем было доказано, что при добавлении лимитирующих аминокислот можно достичь его снижения до 120 г протеина на кг рациона без всяких последствий для скорости роста или эффективности кормления (= 50-процентному сокращению выбросов NH₃). На практике экономически достижимым является показатель 140 г протеина на кг рациона (= 30-процентному снижению выбросов NH₃ относительно базового значения при содержании СП 170 г/кг). Этого можно достичь посредством фазового кормления и добавления большинства лимитирующих аминокислот (Canh and others, 1998b; Dourmad and others, 1993; Lenis and Schutte, 1990). "Экономически достижимый" означает, что затраты на снижение содержания протеина до 140 г/кг (плюс добавка синтетических аминокислот) более или менее компенсируется теми выгодами, которые будут получены за счет улучшения показателей продуктивности и физиологического состояния животных. Хотя для практического применения этого метода еще требуется проделать определенную работу, он рассматривается для поросят на дорастивании и заключительной стадии откорма как метод категории 1. Для свиноматок и поросят-отъемышей требуется проведение дополнительных исследований, и поэтому для этих категорий животных данный метод рассматривается как метод категории 2.

28. Снизить pH экскрементов свиней и, соответственно, выбросы NH_3 может добавление специальных компонентов с высоким содержанием некрахмальных полисахаридов (НПС) (например, жома сахарной свеклы, семенных оболочек соевых бобов). Повышение содержания некрахмальных полисахаридов в рационе усиливает бактериальную ферментацию в толстом кишечнике, что ведет к иммобилизации N мочевины из крови в бактериальный протеин. Когда содержание НПС в рационе повышается с 200 до 300 и выше до 400 г/кг рациона соответственно, выбросы NH_3 снижаются примерно на 16–25%. Однако такое воздействие на выбросы NH_3 зависит в определенной степени также от вида НПС в рационе. Повышение содержания в нем может иметь и негативные последствия. При их высоком уровне усвояемость питательных веществ ухудшается и увеличивается образование отходов, а это нежелательно в районах с высокой плотностью поголовья животных. Кроме того, по мере повышения содержания

НПС в рационе возрастает концентрация летучих жирных кислот в навозе. Хотя эти кислоты являются не самыми главными составляющими неприятного запаха, их повышенный уровень может усиливать его выделение из навоза. При повышении содержания НПС в рационе может также усилиться образование метана, выделяемого животными и навозом (Kirchgessner and others, 1991; Jarret, Martinez and Dourmad, 2011). В силу всех перечисленных выше причин увеличение содержания НПС в рационе как средство сокращения выбросов NH_3 рассматривается как стратегия категории 3 в районах с высокой плотностью поголовья животных и стратегия категории 2 в других районах. Включение слишком большого количества НПС в рацион свиней может иметь негативные последствия для их продуктивности и физиологического состояния и снизить эффективность конверсии корма.

29. Показатель pH мочи и жидкого навоза и выбросы NH_3 из мочи и жидкого навоза снижается при замене CaCO_3 в кормах для животных CaSO_4 , CaCl_2 или бензоатом кальция. Замена кальция (6 г/кг) в рационе в виде CaCO_3 бензоатом кальция снижает pH мочи и жидкого навоза более чем на 2 единицы. В этом случае выбросы NH_3 могут сократиться до 60%. Бензойная кислота в организме свиньи разлагается до гиппуровой кислоты, что понижает pH мочи и, соответственно, жидкого навоза, находящегося в свинарнике. Бензойная кислота официально разрешена к применению в ЕС в качестве регулятора кислотности (E210), а также допущена в качестве кормовой добавки для свиней на откорме (1-процентная дозировка) и для поросят (0,5-процентная дозировка) (зарегистрированный товарный знак "Вевовиталл"). Добавление 1-процентной бензойной кислоты в рацион поросят на доращивании и заключительном этапе откорма снижает выбросы NH_3 примерно на 20% (Aarnink and others, 2008; Guingand, Demerson and Broz, 2005). Аналогичное замещение CaCO_3 сульфатом или хлоридом кальция снижает pH жидкого навоза на 1,2 единицы, а выбросы NH_3 – примерно на 35% (Canh and others, 1998a; Mroz and others, 1996). Добавление бензойной кислоты считается методом категории 1 для поросят на доращивании и заключительном этапе откорма и методом категории 2 для других свиней. Замена CaCO_3 CaSO_4 , CaCl_2 или бензоатом кальция относится к методам категории 2 для всех категорий свиней.

30. Различные меры, связанные с кормлением, оказывают самостоятельное воздействие на выбросы NH_3 . Это означает, что такое воздействие является аддитивным (Bakker and Smits, 2002). Комбинированные меры по кормлению рассматриваются как методы категории 2 для всех категорий свиней.

D. Технологии кормления птицы

31. В птицеводстве потенциал снижения экскреции N путем принятия мер на этапе кормления более ограничен, по сравнению со свиноводством, поскольку достигнутая к настоящему времени средняя эффективность преобразования уже достаточно высока, а колебания в пределах стада птиц больше. В зависимости от вида и текущего исходного уровня обычно можно достичь снижения содержания СП на 1–2% (10–20 г/кг корма). В таблице АП.4 представлен полученный диапазон значений содержания СП в рационе. Значения в таблице являются ориентировочными целевыми уровнями, которые, возможно, будет необходимо адаптировать к местным условиям. В настоящее время в государствах – членах ЕС и в Северной Америке ведутся дальнейшие прикладные исследования по вопросам кормления, которые, похоже, будут способствовать дальнейшему возможному снижению выбросов аммиака в будущем. Снижение содержания СП на 1–2% является мерой категории 1 для молодняка и птицы на заключительной стадии откорма.

Таблица АП.4

Ориентировочные целевые уровни содержания СП в кормах для птицы

Категории птицы	Фазы	Содержание СП, (%) ^a
Цыплята-бройлеры	Стартовый период	20–22
	Период роста	19–21
	Завершающий период откорма птицы	18–20
Куры-несушки	18–40 недель	15,5–16,5
	40+ недель	14,5–15,5
Индейки	<4 недель	24–27
	5–8 недель	22–24
	9–12 недель	19–21
	13+ недель	16–19
	16+ недель	14–17

^a При условии поступления правильно сбалансированных и оптимально усваиваемых аминокислот.

E. Резюме и обобщение материала по технологиям кормления

32. Одним из наиболее рентабельных и стратегических методов сокращения выбросов NH₃ является низкопротеиновое кормление животных. На каждый процент (в абсолютном выражении) снижения содержания СП в кормах животных выбросы NH₃ из животноводческих помещений, навозохранилищ, а также в результате внесения навоза в почву снижаются на 5–15% в зависимости, в частности, от pH мочи и кала. Низкопротеиновое кормление животных также снижает выбросы N₂O и повышает эффективность использования N в животноводстве. Кроме того, при условии соблюдения требований в отношении всех аминокислот этот метод не влечет за собой никаких последствий для здоровья и благополучия животных.

33. Метод низкопротеинового кормления животных наиболее пригоден для стойлового содержания животных и менее эффективен в системах пастбищного

содержания, поскольку травы на раннем этапе физиологического развития и пастбищные бобовые культуры (например, клевер и люцерна) характеризуются относительно высоким содержанием протеина. Однако существуют методы снижения содержания протеина в травостое (сбалансированное внесение азотных удобрений, выпас/скашивание пастбищ на более поздних этапах физиологического развития и т.д.), а также его содержания в рационе животных на пастбищном содержании (дополнительное кормление низкопротеиновыми кормами), хотя эти стратегии не всегда можно применить в полном объеме.

34. В таблице АП.5 представлены диапазоны целевых значений содержания СП для различных категорий животных и для трех "целевых уровней" снижения выбросов NH_3 . "Высокие целевые уровни" соотносятся с самими низкими диапазонами содержания СП в контексте наилучшей практики организации кормления и низкопротеинового кормления животных. Эти значения были неоднократно проверены в ходе научных исследований и доказали свою состоятельность на практике. Средние и низкие целевые уровни содержания СП были получены на основе высоких целевых показателей путем простого повышения целевого содержания СП на один процентный пункт. Достижимые целевые уровни для животных, содержащихся в помещении, зависят от управленческих навыков сельхозпроизводителя и доступности кормов с низким содержанием протеина, включая синтетические аминокислоты.

35. Высоких целевых значений, представленных в таблице АП.5, невозможно добиться при низком качестве кормов (высокое содержание волокон и низкая перевариваемость кормов). В таких условиях содействовать повышению перевариваемости могут специальные кормовые добавки. Для нормального функционирования рубца и хорошего здоровья жвачным животным, а также свиньям (особенно свиноматкам) требуется минимальное содержание волокна в кормах.

36. При производстве специальных мясных (и молочных) продуктов рекомендуемое содержание протеина в кормах для конкретной категории животных может слегка превышать верхнее значение диапазонов, указанное в таблице АП.5.

Таблица АП.5

Возможные уровни содержания СП (процентная доля в сухом корме со стандартным содержанием сухого вещества, равным 88%) для животных, содержащихся в помещении, в зависимости от вида животных при различных целевых уровнях. Данные значения содержания сырого протеина можно использовать как среднегодовые целевые значения в низкопротеиновых стратегиях кормления животных

Категория животных	Среднее содержание СП в корме для животных, (%)		
	Низкий целевой уровень	Средний целевой уровень	Высокий целевой уровень ^a
Молочный скот, ранняя лактация (>30 кг/день)	17–18	16–17	15–16
Молочный скот, ранняя лактация (>30 кг/день)	16–17	15–16	14–15
Молочный скот, поздняя лактация	15–16	14–15	12–14
Ремонтный молодняк (телки)	14–16	13–14	12–13
Телята	20–22	19–20	17–19
Бычки <3 месяцев	17–18	16–17	15–16
Бычки >6 месяцев	14–15	13–14	12–13

Категория животных	Среднее содержание СП в корме для животных, (%)		
	Низкий целе- вой уровень	Средний целе- вой уровень	Высокий целе- вой уровень ^a
Супоросные свиноматки	15–16	14–15	13–14
Подсосные свиноматки	17–18	16–17	15–16
Отъемыши, <10 кг	21–22	20–21	19–20
Поросята, 10–25 кг	19–20	18–19	17–18
Свиньи на откорме, 25–50 кг	17–18	16–17	15–16
Свиньи на откорме, 50–110 кг	15–16	14–15	13–14
Свиньи на откорме, более >110 кг	13–14	12–13	11–12
Цыплята-бройлеры, стартовый период откорма птицы	22–23	21–22	20–21
Цыплята-бройлеры, период роста	21–22	20–21	19–20
Цыплята-бройлеры, завершающий период откорма птицы	20–21	19–20	18–19
Куры-несушки, 18–40 недель	17–18	16–17	15–16
Куры-несушки, >40 недель	16–17	15–16	14–15
Индейки, <4 недель	26–27	25–26	24–25
Индейки, 5–8 недель	24–25	23–24	22–23
Индейки, 9–12 недель	21–22	20–21	19–20
Индейки, 13–16 недель	18–19	17–18	16–17
Индейки, >16 недель	16–17	15–16	14–15

Примечание: Эти значения СП можно применять в качестве среднегодовых целевых показателей в низкопротеиновых технологиях кормления животных.

^a При условии поступления правильно сбалансированных и оптимально усваиваемых аминокислот.

37. Материальные затраты на технологии кормления животных, снижающие потенциал выбросов NH_3 из экскрементов животных за счет регулирования содержания СП, катионно-анионного баланса и содержания некрахмальных полисахаридов (например, жома сахарной свеклы, семенных оболочек соевых бобов), зависят от исходного состава корма для животных и рыночных цен на его компоненты. В целом экономические затраты варьируются в пределах от –2 до +2 евро на килограмм сохраненного N, т.е. существуют потенциальный чистый выигрыш и потенциальные чистые издержки. Обычно материальные затраты возрастают, когда повышается целевой показатель снижения потенциала выбросов NH_3 . Растущие предельные затраты частично зависят от затрат на добавки синтетических аминокислот по сравнению с использованием соевых бобов. Материальные затраты зависят от цен на эти аминокислоты и соевых бобов на мировом рынке, хотя затраты на добавки аминокислот имеют тенденцию к снижению. Затраты на добавки аминокислот возрастают, когда целевое содержание белка в корме понижается. Это можно видеть ниже на примере кормов для свиней на откорме (из личного сообщения д-ра Андре Аарника в октябре 2009 года). Дополнительная информация содержится в докладе Рабочего совещания на тему "Экономические затраты на борьбу с выбросами аммиака", Париж, 25 октября 2011 года.

Таблица АП.6
**Затраты, связанные с целевым сокращением концентраций сырого
протеина в кормах для свиней на откорме**

<i>Целевое содержание протеина (%)</i>	<i>Дополнительные затраты в евро на 100 кг корма</i>
15,0	0,00
13,5	0,90
12,7	3,10

Библиография^a

- Aaes, O., and others (2008). Evaluering af det generelle ammoniakkrav. April 2008 Report from the Ministry of the Environment in Denmark. Aarhus, Denmark: Aarhus University. Available from <http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/00287B6C-9C67-49CF-9394-73F2739051F0/0/Ammoniakevalueringrapport.pdf>.
- Aarnink, A. J. A., and A. Elzing (1998). Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, vol. 53, No. 2 (February), pp. 153–169.
- Aarnink, A. J. A., J. M. G. Hol and G. M. Nijeboer (2008). Het effect van toevoeging van benzoëzuur (1% VevoVital®) aan vleesvarkensvoer op de ammoniak-emissiereductie is bepaald en bedroeg gemiddeld 15,8% ten opzichte van voer zonder VevoVital® (Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% vevovital) in the diet of growing-finishing pigs). Animal Sciences Group report 133. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/107952>.
- Aarnink, A. J. A., E. N. J. van Ouwerkerk, and M. W. A. Verstegen (1992). A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livestock Production Science*, vol. 31, pp. 133–147.
- Aarnink, A. J. A., and M. W. A. Verstegen (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, vol. 109, pp. 194–203.
- Aarnink, A. J. A., and others. (1996). Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agriculture Engineering Research*, vol. 64, pp. 299–310.
- _____ (2007). Kempfarm vleesvarkensstal: milieu emissies en investeringskosten. Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten (Kempfarm housing system for growing-finishing pigs: environmental emissions and investment costs) Animal Sciences Group Report 67. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/16883>.
- Aarts, H. F. M., B. Habekotté and H. van Keulen (2000). Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 56, pp. 231–240.
- Amon, B. Th., and others (2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 60, pp. 103–113.
- Atapattu, N. S. B. M., D. Senaratna and U. D. Belpagodagama (2008). Comparison of Ammonia Emission Rates from Three Types of Broiler Litters. *Poultry Science*, vol. 87, No. 12 (December), pp. 2436-2440.
- Aubert, C., and others (2011). Utilisation d'un complexe de microorganismes pour réduire les émissions d'ammoniac en élevage de poulets (Using a complex of microorganisms to reduce the ammonia emissions from poultry farming). Conference paper for *les 9èmes Journées de la Recherche Avicole*, Tours, France, 29 et 30 March 2011, pp. 116–120.

^a Ко всем адресам, по которым были размещены статьи и другие справочные материалы, последний доступ был обеспечен в сентябре 2013 года.

- Bakker, G. C. M., and M. C. J. Smits (2002). Dietary factors are additive in reducing in vitro ammonia emission from pig manure. *Journal of Animal Science*, vol. 79, Suppl. 1, Abstract 757.
- Baltussen, W. H. M., and others (2010). Economische gevolgen van bestaande regelgeving voor de Nederlandse varkenshouderij (Economic impacts of governmental policy measures for the pig industry in the Netherlands). Landbouw-Economisch Instituut (LEI) Rapport 2010-010. The Hague, the Netherlands.
- Bannink, A., H. Valk and A. M. Van Vuuren (1999). Intake and Excretion of Sodium, Potassium, and Nitrogen and the Effects on Urine Production by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 82, No. 5 (May), pp. 1008–1018.
- Berntsen, J., and others (2007). Simulating residual effects of animal manures using ¹⁵N isotopes. *Plant and Soil*, vol. 290 (January), No. 1–2, pp. 173–187.
- Bittman, S., and others (2007). Agronomic effects of multi-year surface-banding of dairy slurry on grass. *Bioresource Technology*, vol. 98, No. 17 (December), pp. 3249–3258.
- Bouwman, A. F., and others (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 11, No. 4 (December), pp. 561–587.
- Braam, C. R., J. Ketelaars and M. C. J. Smits (1997). Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 45, pp. 49–64.
- Braam, C. R., and others (1997). Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 68, No. 4 (December), pp. 375–386.
- Bracher, A., and others (forthcoming). Feeding measures to reduce ammonia emissions. In *Procedures of the International Symposium on Emissions of Gas and Dust from Livestock, Saint-Malo, France, 10–13 June 2012*, M. Hassouna and others, eds.
- Broderick, G. A. (2003). Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 86, pp. 1370–1381.
- Burton, C. H., and C. Turner (2003). *Manure management — treatment strategies for sustainable agriculture*, 2nd ed. Silsoe, United Kingdom: Silsoe Research Institute.
- Burton, C. H. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, *Livestock Science*, vol. 112, pp. 208–216.
- Bussink, D. W., and O. Oenema (1998). Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas; a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 51, pp. 19–33.
- Canh, T. T., and others (1998a). Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livestock Production Science*, vol. 56, No. 1 (October), pp. 1–13.

- _____ (1998b). Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livestock Production Science*, vol. 56, No. 5 (December), pp. 181–191.
- _____ (1998c). Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, vol. 76, No. 4 (April), pp. 1123–1130.
- _____ (1998d). Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science*, vol. 67, No. 3 (December), pp. 583–590.
- _____ (1998e). Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and ammonia emission from slurry of growing pigs. *Journal of Animal Science*, vol. 76, No. 7 (July), pp. 1887–1895.
- Castillo, A. R., and others (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences*, vol. 9, pp. 1–32.
- Chadwick, D. R. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment*, vol. 39, No. 4 (February): pp. 787–799.
- Chadwick, D. R., and others (2000). Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. *Journal of Agricultural Science*, vol. 134, No. 2 (March), pp. 159–168.
- _____ (2005) Ammonia emissions from nitrogen fertiliser applications to grassland and tillage land. In WP1B Ammonia emissions and crop N use efficiency. United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), component report for Defra Project NT2605 (CSA 6579), November 2005. Available from <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=11983>.
- Chambers, B. J., and K. A. Smith (1995). Management of farm manures: economic and environmental considerations. *Soil Use and Management*, vol. 11, No. 3 (September) pp. 150–151.
- Doberman, A. (2007). Nutrient use efficiency — measurement and management. In *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. Paris: International Fertilizer Industry Association.
- Dourmad, J. Y., and others (1993). Effect of growth potential and dietary protein input on growth performance, carcass characteristics and nitrogen output in growing-finishing pigs. In *Proceedings of the Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, Wageningen, the Netherlands, 8–11 June, p. 206–211.
- Ellen, H. H., and N. W. M. Ogink (2009). Emissie-afleiding Kleinvoliere. Animal Sciences Group Report 234. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/14940>.
- Ellen, H. H., and others (2008). Ammoniakemissie en kosten van chemische luchtwasser met bypassventilatoren bij vleesvarkens (Ammonia emission and costs of a chemical air scrubber with bypass ventilation at a pig house). Animal Sciences Group Report 151. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/35138>.

- Еськов А.И. и другие (2001 год). *Справочная книга по производству и применению органических удобрений*. Владимир, Российская Федерация: ВНИПТИОУ "Всероссийский научно-исследовательский, конструкторский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа Российской академии сельскохозяйственных наук".
- European Commission, 1999. Council Directive 1999/74/EC of 19 July 1999 laying down minimum standards for the protection of laying hens. Official Journal L 203 of 3 August 1999, pp. 53–57.
- _____, 2003. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). July 2003. Available from <http://eippcb.jrc.es/reference/irpp.html>.
- Fangueiro, D., and others (2008a). Effect of cattle slurry separation on greenhouse gas and ammonia emissions during storage. *Journal of Environmental Quality*, vol. 37, No. 6 (November) pp. 2322–2331.
- _____, (2008b). Laboratory assessment of the effect of cattle slurry pre treatment on organic N degradation after soil application and N₂O and N₂ emissions, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 80, pp. 107–120.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). *The State of Food and Agriculture 2009: Livestock in the balance*. Rome.
- Galloway, J. N., and others (2003). The Nitrogen Cascade. *BioScience*, vol. 53, pp. 341–356.
- Geers, R., and F. Madec, eds. (2006). *Livestock production and society*. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Gilhespy, S. L., and others (2009). Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering*, vol. 102, pp. 180–189.
- Groenestein, C. M., and H. G. van Faassen (1996). Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 65, No. 4 (December), pp. 269–274.
- Groenestein, C. M., and others (2001). Ammonia emission from individual- and group-housing systems for sows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 49, pp. 313–322.
- Groot Koerkamp, P. W. G., and C. M. Groenestein (2008). Ammonia and odour emission from a broiler house with a litter drying ventilation system. In *AgEng2008: Agricultural and Biosystems Engineering for a Sustainable World*. Report of the International Conference on Agricultural Engineering and Industry Exhibition, Crete, Greece, 23–25 June 2008.
- Guinand N. (2009). Wet scrubber: one way to reduce ammonia and odours emitted by pig units. Paper presented at the sixtieth meeting of the European Association for Animal Production, Barcelona, Spain, 24–27 August 2009.
- Guinand, N., and V. Courboulay (2007). Reduction of the number of slots for concrete slatted floor in fattening buildings: consequences for pigs and environment. In G. J. Monteny and E. Hartung, eds., *Proceedings of the International Conference on Ammonia in Agriculture: Policy, Science, Control and Implementation, 19–21 March 2007, Ede, Netherlands*, pp. 147–148. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

- Guinand, N., L. Demerson and J. Broz (2005). Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. *Journées Recherche Porcine*, vol. 37, pp. 1–6.
- Gutser, R., and others (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 168, pp. 439–446.
- Hadas, A., and others (2002). Modelling the turnover of ¹⁵N-labelled fertilizer and cover crop in soil and its recovery by maize. *European Journal of Soil Science*, vol. 53, No. 4 (December), pp. 541–552.
- Hart, P. B. S., and others (1993). The availability of the nitrogen in the crop residues of winter wheat to subsequent crops. *The Journal of Agricultural Science*, vol. 121, No. 3 (December), pp. 355–362.
- Hansen, M. N., K. Henriksen and S. G. Sommer (2006). Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 4172–4181.
- Hatch, D. J., and others, eds. (2004). *Controlling nitrogen flows and Losses*. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Histov, A. N., W. Hazen and J. W. Ellsworth (2006). Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorus and potassium and potential for reducing phosphorus imports on Idaho dairy farms. *Journal of Dairy Science*, vol. 89, No. 9 (September), pp. 3702–3712.
- Huynh, T. T. T., and others (2004). Effects of floor cooling during high ambient temperatures on the lying behavior and productivity of growing finishing pigs. *Transactions of the ASAE^b*, vol. 47, No. 5, pp. 1773–1782.
- International Fertilizer Industry Association (2007). *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations*. Paris, France.
- Janssen, B. H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil*, vol. 76, pp. 297–304.
- Jarret G., J. Martinez and J.-Y. Dourmad (2011). Effect of biofuel co-products in pig diets on the excretory patterns of N and C and on the subsequent ammonia and methane emissions from pig effluent. *Animal*, vol. 5, No. 4 (February), pp. 622–631.
- Jarvis, S. C., and B. F. Pain, eds. (1997). *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. Wallingford, United Kingdom: CAB International.
- Jarvis, S., and others (2011). Nitrogen flows in farming systems across Europe. In *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*, M. A. Sutton and others, eds. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, pp. 211–228.
- Jenkinson, D. S., and K. A. Smith, eds. (1988). *Nitrogen Efficiency in Agricultural Soils*. London: Elsevier Applied Science.

^b The American Society of Agricultural Engineers, later, the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

- Kebreab, E., and others (2001). Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 60, Nos. 1–3 (July), pp. 275–285.
- Kirchgessner, M., and others (1991). Bestimmungsfaktoren der Güllecharakteristik beim Schwein. 2. Einfluss von Fütterungsintensität und den Anteilen an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter. *Agribiological Research*, vol. 44, pp. 325–344.
- Kolenbrander, G. J., and L. C. N. De La Lande Cremer (1967). *Stalmest en gier: Waarde en mogelijkheden* (Manure and slurry: Value and opportunities). Wageningen, the Netherlands: H. Veenman & Zonen NV.
- Langmeier M., and others (2002). Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie*, vol. 22, pp. 789–800.
- Lenis, N. P., and J. B. Schutte (1990). Aminozuurvoorziening van biggen en vleesvarkens in relatie tot de stikstofuitscheiding (Amino acid supply of piglets and fattening pigs in relation to nitrogen excretion). In A. W. Jongbloed and J. Coppoolse, eds., *Mestproblematiek: aanpak via de voeding van varkens en pluimvee. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij 4* (Manure Issues: Approach via the diet of pigs and poultry. Research on manure and ammonia in livestock No. 4), Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre.
- MacDonald, A., and others (1997). Effects of season, soil type and cropping on recoveries, residues and losses of ¹⁵N-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *Journal of Agricultural Science*, vol. 129, No. 2 (September), pp. 125–154.
- McCorry, D. F., and P. J. Hobbs (2001). Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *Journal of Environmental Quality*, vol. 30, No. 2 (March-April), pp. 345–355.
- Melse, R. W., P. Hofschreuder and N. W. M. Ogink (2012). Removal of Particulate Matter (PM₁₀) by Air Scrubbers at Livestock Facilities: Results of an On-Farm Monitoring Program. *Transactions of the ASABE*^c, vol. 55, pp. 689–698.
- Melse, R. W., and N. W. M. Ogink (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE*, vol. 48, pp. 2303–2313.
- Melse, R. W., N. W. M. Ogink and B. J. J. Bosma (2008). Multi-pollutant scrubbers for removal of ammonia, odor, and particulate matter from animal house exhaust air. In Proceedings of the Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Conference, 19–21 May 2008, Des Moines, Iowa, United States of America.
- Menzi, H., and others (2010). Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In *Livestock in a changing landscape*, vol.1, *Drivers, Consequences and Responses*, H. Steinfeld, and others, eds. Washington, D.C.: Island Press.

^c Американское общество аграрных и биологических инженеров.

- Mikkelsen, S. A., and others (2010). Denmark-EU: the regulation of nutrient losses from intensive livestock operations. In *Livestock in a changing landscape, vol. 2, Experiences and regional perspectives*, P. Gerber and others, eds. Washington, D.C.: Island Press.
- Misselbrook, T. H., F. A. Nicholson and B. J. Chambers (2005). Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology*, vol. 96, pp. 159–168.
- Misselbrook, T. H., and J. M. Powell (2005). Influence of Bedding Material on Ammonia Emissions from Cattle Excreta. *Journal of Dairy Science*, vol. 88, pp. 4304–4312.
- Misselbrook, T. H., and others (2004). Ammonia Emissions from Irrigation of Dilute Pig Slurries. *Biosystems Engineering*, vol. 89, No. 4 (August), pp. 473–484.
- _____ (2005a). Crusting of Stored Dairy Slurry to Abate Ammonia Emissions: Pilot-scale studies. *Journal of Environmental Quality*, vol. 34, No. 2 (June) pp. 411–419.
- _____ (2005b). Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *Journal of Dairy Science*, vol. 88, pp. 1765–1777.
- Moal, J. F., and others (1995). Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. *Journal of Agricultural Science*, vol. 125, No. 2 (October) pp. 245–252.
- Møller, H. B., J. D. Hansen and C. A. G. Sørensen (2007). Nutrient recovery by solid–liquid separation and methane productivity of solids. *Transactions of the ASABE*, vol. 50, pp. 193–200.
- Monteny, G. J. (2000). Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands (with summaries in English and Dutch).
- Monteny, G. J., and J. W. Erisman (1998). Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors, and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 46, pp. 225–247.
- Mosier, A. R., J. K. Syers and J. R. Freney, eds. (2004). *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) series, vol. 65. Washington, D.C.: Island Press.
- Mroz, Z., and others (1996). Lowering ammonia volatilization from pig excreta by manipulating dietary acid-base difference. Proceedings of the 8th Animal Science Congress of AAAP, Tokyo, 13–18 October 1996, vol. 2, pp. 762–763. Tokyo: Japanese Society of Zootechnical Science.
- Nevens, F., D. Reheul (2005). Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy*, vol. 22, pp. 349–361.
- Nicholson, F. A., B. J. Chambers, A. W. Walker (2004). Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Engineering*, vol. 89, No. 2 (October), pp. 175–185.

- Nørregaard Hansen, M., and others (2008). *Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning* (Emission factors for calculation of ammonia volatilization by storage and application of animal manure). DJF^d Husdyrbrug series, No. 84 (December). Aarhus: Denmark, Aarhus University.
- Новиков М. Н. и другие (1989). *Пометные компосты с фосфогипсом. Рекомендации* (Treating compost with phosphogypsum). Москва: ВО "Агропромиздан".
- Oenema, J., and others (2011). Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farms in the Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, vol. 58, pp. 39–48.
- Oenema, O., H. Kros and W. de Vries (2003). Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*, vol. 20, Nos. 1–2 (December), pp. 3–16.
- Oenema, O., and S. Pietrzak (2002). Nutrient Management in Food Production: Achieving Agronomic and Environmental Targets. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, vol. 31, No. 2 (March), pp. 159–168.
- Oenema, O., and G. L. Velthof (1993) Ammonia volatilization from compound nitrogen-sulfur fertilizers. In *Optimization of Plant Nutrition*, M. A. C. Fragaso and M. L. van Beusichem, eds., pp. 341–349. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Oenema, O., and others (2008). Gaseous Nitrogen Emissions from Livestock Farming Systems. In *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, 2nd ed., J. L. Hatfield and R. F. Follett, eds., pp. 395–441. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- _____ (2009). Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 133, Nos. 3–4 (October), pp. 280–288.
- Ogink, Nico W. M., and Bert J. J. Bosma (2007). Multi-phase air scrubbers for the combined abatement of ammonia, odor and particulate matter emissions. In *Proceedings of the International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, Broomfield, Colorado, 16–19 September 2007*. ASABE. Available from <http://elibrary.asabe.org/conference.asp?confid=aqwm2007>.
- Organization for Economic Cooperation and Development (2008). *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990*. Paris: France.
- Pain, B., and H. Menzi, eds. (2003). *Glossary of terms on livestock manure management 2003. Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Network (RAMIRAN)*. Available from WWW.RAMIRAN.NET.
- Patterson, P. H., and Adrizal (2005). Management Strategies to Reduce Air Emissions: Emphasis — Dust and Ammonia. *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 14, No. 3 (Fall), pp. 638–650.
- Patience, J. F., R. E. Austic and R. D. Boyd (1987). Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *Journal of Animal Science*, vol. 64, No. 2 (February), pp. 457–466.

^d Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (Faculty of Agricultural Sciences) (DJF).

- Paul, J. W., and others (1998). Protein content in dairy cattle diets affects ammonia losses and fertilizer nitrogen value. *Journal of Environmental Quality*, vol. 27, No. 3 (May) pp. 528–534.
- Portejoie, S., and others (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*, vol. 91, No. 1 (December), pp. 45–55.
- Powell, J. M., and G. A. Broderick (2009). Ammonia emissions from dairy barns: What have we learned? *2009 Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 20–22 October 2009, East Syracuse, New York*. Ithaca, New York: Cornell University.
- Powell, J. M., G. A. Broderick and T. H. Misselbrook (2008). Seasonal diet affects ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Dairy Science*, vol. 91, No. 2 (February), pp. 857–869.
- Powell, J. M., T. H. Misselbrook and M. D. Casler (2008). Season and bedding impacts on ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Environmental Quality*, vol. 37, pp. 7–15.
- Powell, J. M., C. A. Rotz and D. M. Weaver (2009). Nitrogen use efficiency in dairy production. In C. Grignani and others, eds., *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop — Connecting different scales of nitrogen use in agriculture, 28 June–1 July 2009, Turin, Italy*, pp. 241–242.
- Powell, J. M., and M. P. Russelle (2009). Dairy heifer management impacts manure N collection and cycling through crops in Wisconsin, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 131, pp. 170–177.
- Powell, J. M., and others (2006). Dairy diet impacts on fecal properties and nitrogen cycling in soils. *Science Society of America Journal*, vol. 70, No. 3 (May), pp. 786–794.
- Reidy, B., and H. Menzi (2007). Assessment of the ammonia abatement potential of different geographical regions and altitudinal zones based on a large-scale farm and manure management survey. *Biosystems Engineering*, vol. 97, No. 4 (August), pp. 520–531.
- Reis, S., ed. (forthcoming). *Overview of the economic cost of ammonia abatement techniques in the UNECE region*. Dordrecht, the Netherlands: Springer Verlag.
- Ritz, C. W., and others (2006). Improving In-House Air Quality in Broiler Production Facilities Using an Electrostatic Space Charge System. *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 15, No. 2 (summer), pp. 333–340.
- Rochette P., and others (2009). Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*, vol. 38, No. 4 (July), pp. 1383–1390.
- Rotz, C. A. (2004). Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science*, vol. 82, No. 13 (January) (supplement): pp. E119–E137.
- Rotz, C. A., J. Oenema and H. van Keulen (2006). Whole farm management to reduce nutrient losses from dairy farms: a simulation study. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 22, pp. 773–784.
- Rotz, C. A., and others (2005). Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Science*, vol. 45, No. 6 (November): pp. 2139–2159.

- Rufino, M. C., and others (2006). Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 116, pp. 261–282.
- _____ (2007). Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science*, vol. 112, No. 3 (December), pp. 273–287.
- Sanz-Cobeña, A. (2010). Ammonia emissions from fertiliser application: Quantification techniques and mitigation strategies. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Schils, R. L. M., and I. Kok (2003). Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 51, pp. 41–65.
- Schlegel, P., S. Durosoy and A. W. Jongbloed, eds. (2008). *Trace elements in animal production systems*. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Schröder, J. J. (2005). Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology*, vol. 96, No. 2 (January), pp. 253–261.
- Schröder J. J., A. G. Jansen and G. J. Hilhorst (2005). Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use and Management*, vol. 21, pp. 196–204.
- Schröder, J. J., and R. J. Stevens (2004). Optimizing N additions: can we integrate fertilizer and manure use? In *Controlling nitrogen flows and losses: 12th Nitrogen Workshop, University of Exeter, United Kingdom, 21–24 September 2003*, D. J. Hatch, and others, eds., pp. 586–593. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Schröder J. J., D. Uenk and G. J. Hilhorst (2007). Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil*, vol. 299, pp. 83–99.
- Schröder J. J., and others (2000). Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? — Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, vol. 66, No. 2 (May), pp. 151–164.
- _____ (2003). An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, vol. 20, No. 1 (December) pp. 33–44.
- Seré, C., H. Steinfeld and J. Groenewold, (1996). World livestock production systems: current status, issues and trends. In FAO Animal Production and Health Paper No. 127, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Smil, V. (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- _____ (2002). Eating Meat: Evolution, Patterns, and Consequences. *Population and Development Review*, vol. 28, No. 4 (December): pp. 599–639.
- Smith, K. A., and others (2000). PA — Precision Agriculture: Reduction of Ammonia Emission by Slurry Application Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 77, No. 3 (November), pp. 277–287.
- Smith, K., and others (2007). Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms. *Biosystems Engineering*, vol. 97, pp. 464–471.

- Smits, M. C. J. (1998). Groeven maken in een dichte V-vormige vloer: enkele observaties naar loopgedrag en ammoniakemissies (Grooving a solid V-shaped floor: some observations on walking behaviour and ammonia emission). DLO^e-IMAG^f Report P 98-60. Wageningen, the Netherlands.
- Søgaard, H. T., and others (2002). Ammonia volatilization from field-applied animal slurry — the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, vol. 36, pp. 3309–3319.
- Sommer, S. G., and J. E. Olesen (1991). Effects of dry matter content and temperature on ammonia loss from surface-applied cattle slurry. *Journal of Environmental Quality*, vol. 20, No. 3 (July), pp. 679–683.
- Sommer S. G., J. K. Schjoerring and O. T. Denmead (2004). Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy*, vol. 82, pp. 557–622.
- Sommer, S. G., and others (2003). Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy*, vol. 19, No. 4 (August) pp. 465–486.
- _____ (2006). Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy*, vol. 89, pp. 261–335.
- Sommerfeldt, T. G., C. Chang and T. Entz (1988). Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 52, No. 6 (November), pp. 1668–1672.
- Sørensen, P. (2004). Immobilisation, remineralisation and residual effects in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertiliser nitrogen. *Plant and Soil*, vol. 267, pp. 285–296.
- Sørensen, P., and M. Amato (2002). Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, vol. 16, No. 2 (March), pp. 81–95.
- Sørensen, P., and I. K. Thomsen (2005). Separation of Pig Slurry and Plant Utilization and Loss of Nitrogen-15-labeled Slurry Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 69, No. 5 (September), pp. 1644–1651.
- Sørensen, P., M. R. Weisbjerg and P. Lund (2003). Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science*, vol. 141, No. 1 (August), pp. 79–91.
- Spoelstra, S. F. (1979). Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 27, pp. 60–66.
- Steinfeld, H., and others (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- _____, eds. (2010). In *Livestock in a changing landscape, vol.1, Drivers, Consequences and Responses*. Washington, D.C.: Island Press.

^e Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) or Agricultural Research Service.

^f Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) or Institute of Environmental and Agricultural Engineering.

- Stevens, R. J. and R. J. Laughlin (1997). The impact of cattle slurries and their management on ammonia and nitrous oxide emissions from grassland. In *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*, S. C. Jarvis and B. F. Pain, eds. Wallingford, United Kingdom: CAB International.
- Sutton, M. A. and others (2000). Ammonia emissions from non-agricultural sources in the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, vol. 34, No. 6 (January), pp. 855–869.
- _____, eds. (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge: United Kingdom, Cambridge University Press.
- Swensson, C. (2003). Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science*, vol. 84, No. 2 (December), pp. 125–133.
- Swierstra, D., C. R. Braam and M. C. J. Smits (2001). Grooved floor systems for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 17, pp. 85–90.
- Tamminga, S. (1996). A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science*, vol. 74, No. 12 (December), pp. 3112–3124.
- Van der Meer, H. G., and others, eds. (1987). *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer Or Waste?* Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Van der Zaag A., and others (forthcoming). Manure storage techniques and costs for abating ammonia. In *Overview of the economic cost of ammonia abatement techniques in the UNECE region*, S. Reis, ed. Dordrecht, Netherlands: Springer Verlag.
- Van Duinkerken, G. M. C. and others (2011a). Update of the Dutch protein evaluation systems for ruminants: the DVE/OEB₂₀₁₀ system. *Journal of Agricultural Science*, vol. 149, No. 3 (June), pp. 351–367.
- _____. (2011b). Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science*, vol. 94, No. 1 (January), pp. 321–335.
- Van Vuuren, A. M. and J. A. C. Meijs (1987). Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing cows. In *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer Or Waste?*, Van der Meer, H. G., and others, eds., pp. 17–25. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Van Vuuren, A. M. and others (1993). Effect of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 76, No. 10 (October), pp. 2982–2993.
- Velthof, G. L., and others (1998). Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and Soil*, vol. 200, No. 2 (March), pp. 215–226.
- Watson, C. A., and D. Atkinson (1999). Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 53, No. 3 (March), pp. 259–267.

- Watson, C. J., and others (1994). Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-BUTYL) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 26, No. 9 (September), pp. 1165–1171.
- Webb, J., S. Anthony and S. Yamulki (2006). Validating the MAVIS Model for Optimizing Incorporation of Litter-Based Manures to Reduce Ammonia Emissions. *Transactions of the ASABE*, vol. 49, pp. 1905–1913.
- Webb, J., D. Chadwick and S. Ellis (2004). Emissions of ammonia and nitrous oxide following rapid incorporation of farmyard manures stored at different densities. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 70, No. 1 (September), pp. 67–76.
- Webb, J. and T. H. Misselbrook (2004). A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production. *Atmospheric Environment*, vol. 38, No. 14 (May), pp. 2163–2176.
- Webb, J., and others (2005a). Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental Pollution*, vol. 135, No. 3 (June), pp. 399–406.
- _____ (2005b). The impact of increasing the length of the cattle grazing season on emissions of ammonia and nitrous oxide and on nitrate leaching in England and Wales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 105, Nos. 1–2 (January) pp. 307–321.
- _____ (2010). The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response — A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 137, Nos. 1–2 (April), pp. 39–46.
- Webb, M., and others (2006). Cost-effective means of reducing ammonia emissions from UK agriculture using the NARSES model. *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 7222–7233.
- Whitehead, D. C. (2000). *Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships*. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.
- Ye, Z. Y., and others (2008a). Influence of airflow and liquid properties on the mass transfer coefficient of ammonia in aqueous solutions. *Biosystems Engineering*, vol. 100, No. 3 (July), pp. 422–434.
- Ye, Z. Y., and others (2008b). Ammonia emissions affected by airflow in a model pig house: effects of ventilation rate, floor slat opening and headspace height in a manure storage pit. *Transactions of the ASABE*, vol. 51, pp. 2113–2122.
- Zhao, Y., and others (2011). Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Transactions of the ASABE*, vol. 54, pp. 285–293.