



Европейская экономическая комиссия

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

Тридцать первая сессия

Женева, 11–13 декабря 2012 года

Пункт 5 предварительной повестки дня

Обзор и пересмотр протоколов

Проект решения о принятии Руководящего документа о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников

**Записка Специальной группы экспертов по правовым
вопросам, подготовленная в сотрудничестве с секретариатом***

Резюме

На своей пятидесятой сессии, состоявшейся 10–14 сентября 2012 года в Женеве, Рабочая группа по стратегиям и обзору рассмотрела проект Руководящего документа о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников, который был подготовлен Целевой группой по химически активному азоту (неофициальный документ № 6), и постановила препроводить его Исполнительному органу с рекомендацией принять его на ее тридцать первой сессии.

Рабочая группа далее просила Специальную группу экспертов по правовым вопросам подготовить в сотрудничестве с секретариатом проект официальных решений, необходимых для того, чтобы данный Руководящий документ мог быть рассмотрен и принят. Руководящий документ содержится в приложении к проекту настоящего решения.

* Настоящий документ представляется без официального редактирования.

Проект решения

Стороны Протокола о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1999 года ("Гётеборгский протокол"), собравшись на тридцать первой сессии Исполнительного органа в 2012 году,

постановляют:

1. утвердить прилагаемый к настоящему решению руководящий документ под названием "Руководящий документ о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников";
2. считать настоящий руководящий документ измененным руководящим документом, упомянутым в статье 3 (8) b) Гётеборгского протокола и в пункте 6 приложения IX к Гётеборгскому протоколу.

Приложение

Проект Руководящего документа о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников

Список сокращений и акронимов

АУЕВ	Автоматически управляемые системы естественной вентиляции
БФА	Биологическая фиксация азота
га	Гектар
ДПВ	Директива о промышленных выбросах (2010/75/EU)
ЕМЕП	Программа наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха в Европе КТЗВБР
ЕС	Европейский союз
ЕЭК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
КАПРАСХ	Капитальные расходы
Кат.	Категория
кг	Килограмм
КПОЗ	Директива о комплексном предотвращении и ограничении загрязнения (2008/1/EC)
КТЗВБР	Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния
ЛОС	Летучие органические соединения
мг/л	Миллиграмм на литр
мкг	Микрограмм
мм	Миллиметр
НИМ	Наилучшие имеющиеся методы
НПС	Некрахмальные полисахариды
НПУ	Наилучшая практика управления
ОАА	Общий аммонийный азот
ООУ	Общий органический углерод
ПГ	Парниковые газы
РГСО	Рабочая группа по стратегиям и обзору
РОА	Растворенный органический азот
СВ	Сухое вещество
СДНИМ	Справочный документ о наилучших имеющихся методах

СП	Сырой протеин
СУСВ	Система управления сроками внесения
ТЕКРАСХ	Текущие расходы
УГ	Условные головы
ЦГХАА	Целевая группа по химически активному азоту
ЭИА	Эффективность использования азота
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
Ca	Кальций
CaCl ₂	Хлорид кальция
CaCO ₃	Карбонат кальция
Ca(NO ₃) ₂	Нитрат кальция
CaSO ₄	Сульфат кальция (гипс)
CH ₄	Метан
CO	Моноксид углерода
CO ₂	Диоксид углерода
€	Евро
Fe	Железо
HCl	Соляная кислота
H ₂ S	Сероводород
H ₂ SO ₄	Серная кислота
Mg	Магний
N	Азот
N ₂	Молекулярный азот
NH ₃	Аммиак
NH ₃ -N	Аммонийный азот
NH ₄	Аммоний
NH ₄ NO ₃	Нитрат аммония
NO ₃	Нитрат
NO _x	Оксиды азота
N ₂ O	Закись азота
НРК	Азот–фосфор–калий
O ₂	Кислород
P	Фосфор
pH	Кислотность; отрицательный логарифм активности протонов (H ⁺)

PM	Дисперсные частицы
PM _{2,5}	Дисперсные частицы < 2,5 микрометра
PM ₁₀	Дисперсные частицы < 10 микрометров
RAINS	Региональная информационно-имитационная модель загрязнения воздуха
S	Сера
SO ₂	Диоксид серы

Содержание

	<i>Пункты</i>	<i>Стр.</i>
Резюме	1–10	7
I. Введение	11–21	14
II. Производство продукции животноводства и изменения в нем.....	22–30	18
III. Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла.....	31–42	21
IV. Стратегии кормления сельскохозяйственных животных	43–55	26
V. Содержание сельскохозяйственных животных.....	56–113	31
A. Системы содержания молочного и мясного скота	56–67	31
B. Системы содержания свиней	68–90	35
C. Системы содержания птицы	91–112	41
VI. Методы хранения навоза.....	113–124	48
VII. Методы внесения навоза.....	125–170	52
VIII. Внесение удобрений.....	171–188	70
A. Удобрения на основе мочевины.....	171–185	70
B. Удобрения на основе сульфата, фосфата и нитрата аммония	186–188	74
IX. Другие меры, относящиеся к сельскохозяйственному азоту	189–193	75
A. Выпас	189–190	75
B. Обработка навоза.....	191–192	76
C. Несельскохозяйственное использование навоза	193	76
X. Несельскохозяйственные стационарные и мобильные источники.....	194–213	77
A. Общие методы	196–200	77
B. Методы, подходящие для отдельных секторов	201–207	78
C. Производство неорганических азотных удобрений, мочевины и аммиака.....	208–213	79
Приложение 1		
Руководящий документ Гётеборгского протокола о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников		81
Приложение 2		
Руководящий документ Гётеборгского протокола о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников		98

Резюме

1. Цель настоящего документа – предоставить Сторонам Конвенции руководящие указания по определению мер контроля за выбросами аммиака (NH_3) с целью сокращения его выбросов из сельскохозяйственных источников в соответствии с приложением IX к Гётеборгскому протоколу Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол).

2. В настоящем документе кратко характеризуются:

- a) современные знания о методах и стратегиях сокращения выбросов NH_3 ;
- b) научно-технические основы этих методов и стратегий;
- c) экономические затраты на применение этих методов в евро на один килограмм (кг) недопущенных выбросов NH_3 ;
- d) все ограничения применимости соответствующих методов и препятствия, мешающие возможности их применения.

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

- a) управление потоками азота (N) с учетом полного азотного цикла;
- b) стратегии кормления животных;
- 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. Комплексной мерой по сокращению потерь N является **управление потоками азота**. Оно основано на исходной предпосылке, согласно которой сокращению выбросов NH_3 способствуют сокращение избытка N и повышение эффективности его использования. В смешанных животноводческих хозяйствах к выбросам NH_3 имеет отношение от 10 до 40% избытка N. Еще одной предпосылкой к управлению потоками азота является выявление и предотвращение нежелательных сдвигов в структуре загрязнения между различными соединениями азота и между разными компонентами окружающей среды. Таким образом, предварительным условием создания необходимой базы для комплексной оптимизации управления потоками азота является определение баланса "вход–выход" по азоту на уровне отдельного хозяйства.

5. Стоимость расчета азотного баланса для одного хозяйства находится в пределах 200–500 евро в год (в балансе хозяйства учитываются все источники поступления азота, такие как корма, удобрения и т.д., а также весь азот, выходящий с продукцией). Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением продукции и пуском производства, здесь не рассматриваются. Стоимость повышения эффективности использования азота за счет улучшения

управления находится в диапазоне от –1,0 до 1,0 евро на один кг сохраненного N. Экономия можно получить за счет сокращения расходов на удобрения и повышения качества урожая. Возможные затраты связаны с увеличением расходов на консультативные услуги и проведение анализов почвы, урожая, кормов и навоза. Экономические затраты на возможные инвестиции в методы здесь не учитываются, а рассматриваются в других разделах. В таблице S1 представлены ориентировочные диапазоны эффективности использования азота (ЭИА) и избытка азота в балансе "вход–выход" для сельхозпредприятий различной специализации. Эти диапазоны служат приблизительными ориентирами и могут уточняться с учетом конкретных особенностей сельхозпредприятий и страны. Управление эффективностью использования азота должно осуществляться одновременно с управлением эффективностью использования всех питательных веществ и с учетом других факторов, таких как защита растений от вредителей.

Таблица S1

Ориентировочные диапазоны целевых значений избытка азота (N) и эффективности использования азота (ЭИА) в зависимости от специализации сельскохозяйственного предприятия, сельскохозяйственных культур и видов животных

Специализация сельхозпредприятия	Сельхозкультуры/ виды животных	ЭИА кг/кг	Избыток N кг/га/год	Примечания
Специализированное растениеводство	Пахотные культуры	0,6–0,9	0–50	Зерновые имеют высокую ЭИА, корнеплоды – низкую
	Овощи	0,4–0,8	50–100	Листовые овощи имеют низкую ЭИА
	Фрукты	0,6–0,9	0–50	
Системы с пастбищным содержанием жвачных животных	Молочный скот	0,3–0,5	100–150	Высокие надои, высокая ЭИА; низкая плотность содержания животных, небольшой избыток N
	Мясной скот	0,2–0,4	50–150	Производство телят, 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, высокая ЭИА;
	Мясной скот	0,3–0,5	50–150	кормление концентратами, высокая ЭИА
	Свиньи	0,3–0,6	50–150	
	Птица	0,3–0,6	50–150	
Безземельные системы	Другие животные	0,3–0,6	50–150	
	Молочный скот	0,8–0,9	неприм.*	Выход N с молоком, животными, навозом + потери N = поступления N; избыток N – это газообразные потери N из помещений для животных и из хранилищ.
	Мясной скот	0,8–0,9	неприм.	
	Свиньи	0,7–0,9	неприм.	
	Птица	0,6–0,9	неприм.	
	Другие животные	0,7–0,9	неприм.	

* Неприменимо к данному случаю, так как такие сельхозпредприятия практически не имеют земли. Однако избыток N может быть выражен в кг на одно предприятие в

год. Если все продукты животноводства, включая навоз, и все растительные остатки и отходы вывозятся, то целевое значение избытка N может находиться в пределах 0–1 000 кг на одно предприятие в год в зависимости от размера предприятия и газообразных потерь N.

6. Эмиссия NH_3 из навоза как в помещениях для животных, так и в хранилищах, а также при последующем его внесении на поля снижается благодаря **стратегиям кормления животных**. При пастбищном содержании животных такие стратегии применять труднее, но эмиссия с пастбищ низка, и само пастбищное содержание по существу является мерой категории 1. Стратегии кормления скота реализуются путем: i) фазового кормления, ii) низкопротеинового кормления с добавлением или без добавления определенных синтетических аминокислот и защищенного от переваривания в рубце белка, iii) увеличения содержания некрахмальных полисахаридов в кормах и iv) использования добавок, понижающих pH, например бензойной кислоты. Фазовое кормление – эффективная и экономически привлекательная мера даже при необходимости установки дополнительного оборудования. Молодняк и высокопродуктивные животные больше нуждаются в повышенном содержании белка, чем старые, малопродуктивные животные. При снижении среднего содержания белка в рационе на 10 г/кг (1%) общие выбросы NH_3 из всех источников на сельхозпредприятии уменьшаются примерно на 10%. Экономические затраты на стратегии кормления животных зависят от стоимости компонентов корма и возможностей корректировки их соотношения до оптимальных значений, исходя из их доступности. "Базовой" в данном случае является усредненная текущая практика, которая существенно отличается в разных странах и значительно варьируется в зависимости от времени. Чистые затраты на стратегии кормления животных зависят от подбора рациона и изменений в продуктивности животных. Как правило, высокопротеиновый рацион и эффективный низкопротеиновый рацион обходятся дороже, чем рацион со средневысоким содержанием белка. Как повышенное, так и пониженное содержание белка в рационе оказывает негативное влияние на продуктивность животных, хотя для сельхозпроизводителей более очевидно последнее. Стоимость подбора рациона находится в диапазоне от –10 до 10 евро на 1 000 кг кормов в зависимости от состояния рынка кормовых ингредиентов и стоимости синтетических аминокислот. Следовательно, в отдельные годы изменение рациона может принести выгоду, в то время как в другие годы с ним могут быть сопряжены дополнительные расходы. В таблице S2 в кратком виде приведены возможные целевые показатели снижения содержания протеина, позволяющие сохранить эффективность производства для каждой категории животных (см. также приложение 2). Следует отметить, что по мере возрастания стремления снизить среднее содержание протеина экономические затраты возрастают с низкого уровня до высокого.

Таблица S2

Ориентировочные целевые показатели содержания протеина

(в процентах в сухом корме со стандартным содержанием сухого вещества 88% для различных категорий животных при их содержании в помещениях при различных целевых уровнях. В данной таблице подытоживаются данные таблиц основного текста и таблиц приложения 2. Следует отметить, что уменьшение содержания протеина в корме на 1% может сократить общие выбросы аммиака из всех источников навоза на 10%)

Категория животных	Среднее содержание сырого протеина в корме, % ^a		
	Низкий целевой уровень	Средний целевой уровень	Высокий целевой уровень
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 месяца	17–18	16–17	15–16
Бычки, > 6 месяцев	14–15	13–14	12–13
Супоросные свиноматки	15–16	14–15	13–14
Подсосные свиноматки	17–18	16–17	15–16
Отъёмыши, < 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
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 недели	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

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

7. **При содержании животных в помещениях** методы сокращения выбросов NH_3 основываются на использовании одного или нескольких из нижеперечисленных принципов:

- a) уменьшение площади поверхности, загрязненной навозом;
- b) быстрое удаление мочи; быстрое разделение фекалий и мочи;
- c) снижение скорости движения воздуха и температуры над поверхностью навоза;
- d) снижение pH и температуры навоза;
- e) сушка навоза (особенно птичьего помета);
- f) удаление NH_3 из отводимого воздуха (очистка скруббером); и
- g) увеличение продолжительности выпаса.

Все эти принципы применяются в методах категории 1, т.е. они научно обоснованы и проверены на практике. Для разных категорий животных требуются разные системы содержания и разные параметры микроклимата, отсюда и разные методы снижения выбросов аммиака. Из-за разных потребностей животных и систем их содержания к разным категориям животных применяются разные положения. В качестве "базовых" используются наиболее традиционные системы содержания, не предусматривающие применения специальных методов снижения выбросов NH_3 . Затраты на применение методов, используемых для снижения выбросов аммиака из помещений для содержания животных, складываются из: i) затрат на амортизацию капиталовложений, ii) оплаты процентов за кредит, iii) стоимости энергии, iv) затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание. Помимо расходов есть и выгоды, связанные с улучшением здоровья и повышением продуктивности животных. Эти выгоды с трудом поддаются количественной оценке и не всегда учитываются в общей оценке расходов. Экономические затраты варьируются в зависимости от методов/вариантов и размера сельскохозяйственного предприятия, а методы для содержания в помещении крупного рогатого скота пока еще находятся на стадии разработки. В таблице S3 представлены общие сведения о снижении выбросов и экономических затратах для основных категорий животных.

Таблица S3

Методы снижения выбросов аммиака при содержании животных в помещении, обеспечиваемые ими уровни снижения выбросов и сопутствующие затраты

<i>Категория</i>	<i>Снижение выбросов по сравнению с базовым вариантом^a</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сниженного NH_3-N)</i>
Существующие помещения для свиней и птицы на фермах с поголовьем > 2 000 свиней на откорме или > 750 свиноматок, или > 40 000 голов птицы	20%	0–3
Новые или существенно реконструированные помещения для КРС	0%–70%	1–20
Новые или существенно реконструированные помещения для свиней	20%–90%	1–20
Новые и существенно реконструированные помещения для бройлеров	20%–90%	1–15

<i>Категория</i>	<i>Снижение выбросов по сравнению с базовым вариантом^a</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сниженного NH₃-N)</i>
Новые и существенно реконструированные помещения для кур–несушек	20%–90%	1–9
Новые и существенно реконструированные помещения для других видов животных, не перечисленных в настоящей таблице	0%–90%	1–20

^a Базовые варианты описываются в дальнейших разделах Руководящего документа.

8. Сокращение выбросов аммиака **при хранении навоза** основывается на использовании одного или нескольких из следующих принципов: i) уменьшение площади поверхности, с которой может происходить эмиссия, например путем покрытия навозохранилищ с созданием благоприятных условий для образования корки и посредством увеличения их глубины, ii) уменьшение мощности источника эмиссии на эмитирующей поверхности за счет понижения рН и концентрации NH₄, iii) минимальное нарушение спокойного состояния, например аэрацией. Все принципы применяются при использовании методов категории 1, т.е. они научно обоснованы и проверены на практике. Эти принципы общеприменимы к хранилищам жидкого и твердого навоза (помета). Однако на практике их легче реализовать в хранилищах жидкого навоза, чем в хранилищах твердого навоза (помета). Базовым вариантом являются открытые хранилища жидкого навоза без корки и незакрытые кучи твердого навоза.

Затраты на применение методов, используемых для снижения выбросов NH₃ при хранении навоза, складываются из i) затрат на амортизацию капиталовложений, ii) оплаты процентов за кредит и iii) эксплуатационных расходов. Ниже приведены в виде краткой таблицы общие расходы в евро на 1 кг сохраненного NH₃-N (таблица S4). Помимо затрат, имеются и выгоды, связанные с уменьшением неприятного запаха, сокращением ливневых стоков и повышением безопасности (отсутствие открытых ям), но некоторые из этих выгод с трудом поддаются количественной оценке, поэтому они здесь не учтены. Диапазоны затрат зависят от разных методов/вариантов и размера сельхозпредприятия. Следует отметить, что стоимость самого хранилища в приведенных в таблице S4 оценках затрат не учтена. Некоторые покрытия можно установить только при строительстве новых хранилищ. На величину общих потерь во время "хранения навоза" оказывают влияние такие виды его обработки, как разделение, компостирование и ферментация.

Таблица S4

Методы сокращения выбросов аммиака из навозохранилищ, обеспечиваемые ими уровни снижения выбросов и сопутствующие затраты

<i>Методы</i>	<i>Снижение выбросов, %</i>	<i>Стоимость, евро/м³ в год</i>	<i>Стоимость, евро/кг сохраненного 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*	0,3–5*

* Без учета корки; при хранении некоторых видов навоза корка образуется естественным образом и ничего не стоит, но ее появление сложно прогнозировать.

9. **Методы внесения навоза с низким уровнем выбросов** основываются на использовании одного или нескольких из следующих принципов: i) уменьшение площади поверхности, с которой может происходить эмиссия, – за счет его ленточного внесения, инжектирования, заделки в почву; ii) сокращение времени, в течение которого эмиссия может иметь место, – путем быстрой заделки навоза в почву либо посредством немедленного полива или за счет быстрой инфильтрации; и iii) уменьшение мощности источника эмиссии на эмитирующей поверхности – путем снижения уровня рН и концентрации NH_4 в навозе (путем его разбавления). Все принципы применяются при использовании методов категории 1, т.е. они научно обоснованы и проверены на практике. Эти принципы в целом применимы при внесении как жидкого навоза, так и твердого навоза. Однако степень применимости и эффективности методов снижения выбросов в случае жидкого навоза выше, чем в случае твердого навоза. Для твердого навоза наиболее подходящим методом является его быстрая заделка в почву и немедленный полив. Базовым вариантом в данном случае 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 2, поскольку требует подтверждения эффективности. Затраты на применение методов, используемых для снижения выбросов NH_3 при внесении навоза, складываются из:

- a) затрат на амортизацию капиталовложений в оборудование для внесения навоза;
- b) оплаты процентов за кредит;
- c) дополнительных затрат на трактор и оплат рабочей силы; и
- d) эксплуатационных затрат и затрат на техническое обслуживание.

Ниже в кратком виде приведены общие затраты в евро на кг сохраненного $\text{NH}_3\text{-N}$ (таблица S5). К сопутствующим выгодам относятся уменьшение неприятного запаха и сокращение потерь биоразнообразия, а также улучшение поедаемости зеленого корма, равномерность внесения и стабильность реакции сельхозкультур на вносимый навоз. Некоторые из этих выгод с трудом поддаются количественной оценке, поэтому не все они учитываются в оценках затрат. Диапазоны затрат зависят от содержания NH_4 в жидком/твердом навозе: чем выше содержание NH_4 , тем меньше затраты на снижение выбросов. Средние значения затрат, вероятно, попадут в нижнюю половину диапазона, особенно если внесение осуществляется подрядчиками, на крупных сельскохозяйственных предприятиях или при помощи совместно используемого оборудования.

Таблица S5

Методы снижения выбросов аммиака при внесении навоза, обеспечиваемые ими уровни снижения выбросов и сопутствующие затраты

<i>Вид навоза</i>	<i>Методы внесения</i>	<i>Сокращение выбросов, %</i>	<i>Стоимость, евро/кг сохраненного $\text{NH}_3\text{-N}$</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 внесение	> 30	–0,5–1,5
	Разбавление	> 30	–0,5–1
	Системы обращения	> 30	0–2

<i>Вид навоза</i>	<i>Методы внесения</i>	<i>Сокращение выбросов, %</i>	<i>Стоимость, евро/кг сохраненного NH₃-N</i>
	Прямая заделка в почву после поверхностного внесения	> 30	-0,5-2
Твердый навоз	Прямая заделка в почву	> 30	-0,5-2

Таблица S6

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

<i>Вид удобрения</i>	<i>Методы внесения</i>	<i>Сокращение выбросов, %</i>	<i>Стоимость, евро/кг сохраненного 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	Запрещено	~100	-1-2
Аммонийные удобрения	Инжекторное внесение	> 80	0-4
	Заделка после поверхностного внесения	> 50	0-4
	Поверхностное разбрасывание с поливом	> 50	0-4

I. Введение

11. Цель настоящего документа – предоставить Сторонам Конвенции руководящие указания по определению мер контроля за выбросами аммиака (NH₃) с целью сокращения его выбросов из сельскохозяйственных источников с учетом полного азотного (N) цикла. Этот руководящий документ облегчит выполнение предусмотренных в статье 3 Протокола основных обязательств по выбросам NH₃ и, в частности, будет способствовать эффективной реализации мер, перечисленных в приложении IX, а также достижению национальных потолочных значений выбросов NH₃, приведенных в таблице 3 приложения II к Протоколу.

12. В документе рассматриваются меры по снижению выбросов NH₃ из сельскохозяйственных источников. Сельское хозяйство является основным источником NH₃, который выделяется главным образом из экскрементов сельскохозяйственных животных в животноводческих помещениях, при хранении, переработке, обработке и внесении в почву навоза, а также из экскрементов животных на выпасе. Его эмиссия также происходит из неорганических азотных удобрений после их внесения в почву и из богатых азотом зерновых культур и растительных остатков, включая силос из злаковых трав. Сокращения выбросов можно достичь путем принятия мер по борьбе с ними во всех указанных выше сферах, но они в них характеризуются разной степенью практичности, эффективности и затратности.

13. Общие руководящие указания по борьбе с выбросами NH_3 были даны в первом варианте Руководящего документа (EB.AIR/1999/2). Этот вариант был пересмотрен в 2007 году (ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13). Нынешний вариант документа с новыми изменениями и дополнениями отражает состояние научно-технического развития на начало 2012 года.

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

а) **методы и стратегии категории 1.** Они хорошо изучены, считаются осуществимыми или потенциально осуществимыми на практике, и эффективность их применения в борьбе с загрязнением подтверждена количественными данными, по крайней мере в экспериментальном масштабе;

б) **методы и стратегии категории 2.** Они перспективны, но на данный момент еще недостаточно изучены либо эффективность их применения в борьбе с загрязнением всегда будет с трудом поддаваться общей количественной оценке. Это не означает, что они не могут применяться в рамках какой-либо стратегии сокращения выбросов NH_3 в зависимости от местных условий;

в) **методы и стратегии категории 3.** Их эффективность пока еще не доказана либо их можно не принимать во внимание исходя из практических соображений.

15. Исходя из результатов имеющихся исследований возможность использования методов категории 1 в стратегиях борьбы с загрязнением может рассматриваться как уже подтвержденная. Методы категорий 2 и 3 также могут использоваться в таких стратегиях. Однако по этим категориям использующие их Стороны должны предоставить результаты независимой проверки, демонстрирующей те снижения выбросов NH_3 , о которых они сообщают. Следует отметить, что при отнесении метода к той или иной категории его затратность не учитывается. Информация о затратах предоставляется в обоснование решений об использовании методов.

16. В целях уменьшения диапазона загрязняющих выбросов крупных свиноводческих и птицеводческих хозяйств на уровне Европейского союза в соответствии с Директивой 2008/1/ЕС о комплексном предотвращении и ограничении загрязнения (КПОЗ) наряду с этим подготовлено отдельное руководство (изданная в ноябре 2011 года Директива о промышленных выбросах 2010/75/ЕС). По адресу <http://eippcb.jrc.es/reference/irpp.html> можно найти "Справочный документ по наилучшим имеющимся методам (НИМ) интенсивного птицеводства и свиноводства", документ BREF (Справочник по НИМ). В настоящее время справочник BREF пересматривается. Настоящий руководящий документ и материалы по НИМ совпадают лишь частично, поскольку НИМ были определены только для свиноводческого и птицеводческого секторов, но не были определены ни для КРС, овец или других сельскохозяйственных животных, ни для целей внесения в почву навоза или удобрений. Настоящий документ касается хозяйств и секторов в большей степени, так как в нем среди прочих затрагиваются и выбросы аммиака при внесении навоза и удобрений в почву и из других различных источников.

17. Варианты сокращения выбросов NH_3 на разных этапах образования навоза и операций с ним взаимозависимы, и сочетание соответствующих мер не следует рассматривать как простую сумму с точки зрения их эффективности в плане сокращения общего размера выбросов. Особенно важно ограничивать выбросы при внесении навоза в почву, потому что они, как правило, составляют значительную долю всех выбросов из животноводческого сектора, и вследствие

того, что его внесение в почву является последним этапом операций с навозом. Без снижения выбросов на этом этапе многие положительные результаты, достигнутые за счет принятия зачастую более затратных мер по ограничению выбросов в животноводческих помещениях и при хранении навоза, могут быть потеряны. Таким же образом и контроль выбросов при внесении навоза будет давать меньший эффект с точки зрения общих потерь в хозяйстве и в плане эффективности использования N, если большие потери будут иметь место в животноводческих помещениях и хранилищах. Самое прямое воздействие на выбросы оказывает снижение содержания N в экскрементах животных, поэтому этот аспект добавлен в данный документ. В силу такой взаимозависимости Сторонам следует по мере возможности использовать модели оценки перемещения всех потоков азота для оптимизации своих стратегий сокращения выбросов. Поэтому в документе дополнительно отражена вся производственная цепочка сельскохозяйственного предприятия, включая кормление животных.

18. Многие меры могут быть связаны как с капитальными, так и с эксплуатационными затратами (см. таблицу 1). В дополнение к теоретическим расчетам, основанным на капитальных и эксплуатационных расходах, там, где они имеются, должны использоваться и фактические данные по затратам (например, расценки подрядчиков). Помимо расчета прямых затрат следует по возможности рассчитывать и выгоды от используемых мер. Во многих случаях совокупные выгоды для сельхозпроизводителя (например, сокращение потребности в минеральных удобрениях, большая свобода действий в области агротехники, сокращение выбросов других загрязняющих веществ, уменьшение числа жалоб на неприятный запах) могут перевесить затраты. Сравнение чистых затрат сельхозпроизводителя (т.е. стоимость минус прибыль) с другими экологическими выгодами (например, улучшение качества воздуха, воды и почвы, сокращение потерь биоразнообразия, меньшие климатические возмущения) выходят за рамки тематики настоящего документа.

19. Затраты на применение соответствующих методов в разных странах будут варьироваться. Следует отметить, что благодаря экономии на масштабе некоторые методы сокращения выбросов могут оказаться более рентабельными в крупных хозяйствах, чем в мелких хозяйствах. Это особенно касается тех случаев, когда для применения конкретного метода снижения выбросов требуется приобретение основных средств, например низкокомиссионных машин для внесения жидкого навоза. В таких случаях удельные затраты по мере увеличения объема навоза сокращаются. Большое бремя расходов для мелких хозяйств может быть также аргументом в пользу применения метода немедленной заделки навоза в почву после внесения. Как при внесении жидкого навоза, так и при заделке навоза в почву затраты для небольших хозяйств будут во многих случаях сокращаться благодаря распределению расходов на оборудование между несколькими хозяйствами путем привлечения подрядчиков, имеющих доступ к подходящему оборудованию, иногда сконструированному и изготовленному на местах. Поэтому верхний диапазон расходов также может быть снижен при сосредоточении усилий по сокращению выбросов на средних и крупных сельскохозяйственных предприятиях.

Таблица 1а
Капитальные затраты (капитальные расходы (КАПРАСХ))

<i>Статья расходов</i>	<i>Примечания</i>
Капитал для стационарного оборудования или техники	Стационарное оборудование включает строения, установки, перепрофилированные строения, кормохранилища и покрытия для навозохранилищ. Под техникой понимаются шнековые кормораздатчики, оборудование для внесения навоза на поля или оборудование для обработки навоза и т.д.
Расходы на оплату работ по монтажу	Следует использовать договорные ставки, если они являются стандартными. Если при перепрофилировании к работам по монтажу привлекаются работники хозяйства, привлеченный к работе персонал должен оплачиваться по типовой часовой ставке. Вклад сельхозпроизводителей следует оценивать по размеру вмененных издержек.
Субсидии	Следует вычесть сумму инвестиционных субсидий, доступных сельхозпроизводителям.

(Новые) КАПРАСХ означают инвестиционные расходы в случае сооружения новых строений в отличие от КАПРАСХ на модернизацию, которая означает перестройку и ремонт строений.

Таблица 1 б)
Годовые затраты (текущие расходы, ТЕКРАСХ): годовые затраты, связанные с внедрением метода

<i>Статья расходов</i>	<i>Примечания</i>
Годовой размер затрат на капитал следует рассчитывать исходя из всего срока инвестиций	Следует использовать стандартную формулу. Соответствующий период будет зависеть от срока эксплуатации. При перепрофилировании необходимо учитывать остаточный срок службы первоначального объекта.
Следует производить расчет ремонтных работ, связанных с инвестициями	Определенный процент от капитальных затрат.
Изменения в затратах на рабочую силу	Дополнительные часы x почасовая ставка.
Затраты на топливо и энергию	Может возникнуть необходимость учета дополнительных потребностей в энергии.
Изменения продуктивности животных	Изменения в рационе питания или системе содержания могут повлиять на продуктивность животных и отразиться на затратах.
Экономия расходов и производственные выгоды	Результатом внедрения методов нередко является экономия расходов для сельхозпроизводителей. Их следует по возможности выражать в количественной форме. При расчете выгод следует отдельно учитывать избежание необходимости выплачивать штрафы за загрязнение.

20. Когда возможно, методы, перечисленные в настоящем документе, четко определяются и оцениваются по отношению к "базовому" варианту или варианту, не предусматривающему каких-либо мер по борьбе с загрязнением. "Базовая ситуация", по отношению к которой рассчитывается процент сокращения выбросов, определяется в начале каждой главы. В большинстве случаев "базовой" считается практика или конструкция, отождествляемые с наиболее широко распространенным методом, используемым сейчас на товарных сельхозпредприятиях в регионе ЕЭК ООН, и исходная инвентаризация производится именно на ее основе.

21. При введении новых мер часто возникают расходы на обучение, продвижение продукции и пуск работ, которые здесь не рассматриваются. В большинстве случаев таким мерам сопутствуют не учитываемые при калькуляции затрат существенные побочные выгоды, которые улучшают комфорт сельхозработников, а также населения. Примером может служить, в частности, ослабление неприятного запаха в результате сокращения выбросов, от которого выигрывают население в целом (это может даже способствовать развитию туризма), а также сельхозпроизводители и их семьи. Также не учитывается вторичная экономия затрат, например достигаемое благодаря лучшему сохранению NH_3 на сельхозпредприятиях сокращение загрязнения окружающей среды и потребления энергии заводами по производству удобрений. Некоторые меры (например, инъекторное внесение навоза, устройство покрытий для стойлового навоза, подкисление навоза, очистка удаляемого воздуха) снижают риск загрязнения водотоков азотом, другими питательными веществами, болезнетворными микроорганизмами и прочими загрязнителями.

II. Производство продукции животноводства и изменения в нем

22. Главными источниками выбросов NH_3 в большинстве стран ЕЭК ООН являются экскременты сельскохозяйственных животных в помещениях, навоз в процессе его хранения, переработки, обработки и внесения в почву, а также экскременты животных на выпасе. По этой причине крайне важно дать краткие пояснения по ситуации в животноводческом секторе.

23. Животноводство вносит важный вклад в глобальную экономику производства продовольствия и сельского хозяйства, а также в питание и культуру человека: на его долю приходится 40% стоимостного объема мирового сельскохозяйственного производства и оно 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. Как ожидается, животноводство в изобилии обеспечит в будущем все возрастающее городское население безопасными продуктами питания, а почти один миллиард бедных производителей – средствами к существованию, а сейчас создает возможности для освоения необрабатываемых земель, обеспечивает фермерам, ведущим натуральное хозяйство, продовольственную безопасность при неурожаях, позволяет использовать пищевые отходы и полевые потери или остатки после уборки урожая и даже дает топливо, способствует концентрации и кругообороту 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).

24. Несмотря на то что животноводческий сектор выполняет различные общественно полезные функции, а мировой спрос на молочную, мясную и яичную продукцию в ближайшие десятилетия будет продолжать расти, усиливается и давление на (интенсивные) системы производства продукции животноводства, с тем чтобы они стали более благоприятными для окружающей среды. Животноводческий сектор – основной землепользователь в мировом масштабе, и он причастен к явлениям обезлесения и сокращения биоразнообразия (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010). Он также является основным пользователем пресной воды, главным образом вследствие производства кормов для животных, в то время как некоторые районы начинают испытывать ее дефицит. Животноводство – главный источник атмосферного аммиака (NH_3) и парниковых газов – метана (CH_4) и закиси азота (N_2O). Выбросы NH_3 происходят главным образом от навоза животных, в котором содержится N. Его выбросы при производстве продукции животноводства зависят от вида, поголовья и генетического потенциала животных, от кормления и ухода за животными, от способа содержания животных и обращения с навозом (Bouwman et al., 1997; Steinfeld et al., 2006; Oenema et al., 2008). В Европе наибольшую потребность в химически активном азоте испытывают животные. Например, согласно Европейской оценке по азоту, на корм животным идет 85% азота, содержащегося в урожае, а непосредственно в пищу людям – только 15% (Sutton et al., 2011).

25. Системы производства продукции животноводства могут быть ориентировочно разделены на i) пастбищные системы, ii) смешанные системы и iii) безземельные системы с исключительно стойловым содержанием животных, или индустриальные системы (например, Seré and Steinfeld, 1996). Пастбищные системы – это системы, полностью основанные на использовании земли при концентрации поголовья менее одной-двух условных голов на гектар в зависимости от производительности пастбища. В смешанных системах значительная часть стоимостного объема производства обеспечивается за счет других видов деятельности, помимо животноводства, а часть кормов для животных часто завозится со стороны. Индустриальные системы имеют концентрацию поголовья более 10 условных голов на гектар и зависят прежде всего от внешних поставок кормов, энергии и других ресурсов. При таких системах на предприятии производится 0–10% сухого вещества, потребляемого животными с кормом. Значимые показатели для систем производства продукции животноводства – это плотность поголовья в условных единицах на гектар (гол/га) и количество получаемого молока или мяса в кг на га в год. Общепринятый и полезный индикатор давления на окружающую среду – общее выделение поголовьем с экскрементами N или P на гектар в год (например, Menzi et al., 2010).

26. Для каждого вида сельскохозяйственных животных можно провести различия между обычным и "органическим" хозяйствованием, а нередко также проводится разграничение между интенсивной и экстенсивной системами. Интенсивные системы производства продукции животноводства характеризуются большими объемами производства мяса, молока и яиц на единицу площади сельскохозяйственных угодий и на единицу поголовья (т.е. на условную голову), что обычно совпадает с высокой плотностью поголовья на единицу сельскохозяйственных угодий. Чаще всего это достигается за счет высокой конверсии корма в животноводческую продукцию. Благодаря своей способности быстро реагировать на растущий спрос на дешевые продукты животноводства операторы интенсивных систем в настоящее время производят в масштабах мира доминирующую долю свинины, мяса птицы и яиц (56%, 72% и 61% соответственно) и существенную долю молока (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2009).

27. Традиционно большинство потребляемых человеком продуктов животноводства производились на местах с использованием кормов для животных местного производства. Сейчас все больше животных продуктов, потребляемых жителями городов, производится с использованием кормов, привозимых из-за пределов районов животноводства. Особенно это касается продукции свиноводства и птицеводства. Таким образом, районы производства кормов для животных и 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 энергию, производимую из ископаемых источников: расходы на доставку концентрированных кормов ниже, чем другие производственные затраты. Транспортировка мяса и яичных продуктов также стала дешевле. Однако отделение производства кормов для животных от производства продукции животноводства имеет серьезные последствия для надлежащей утилизации навоза животных и обращения с ним (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010 и содержащиеся в них ссылки).

28. Все чаще производственные цепочки организуются и группируются на региональном уровне, чтобы максимально снизить затраты на производство, переработку и доставку. Важнейшим вводимым ресурсом животноводческого производства являются корма для животных, за которыми следуют рабочая сила, энергия, вода и услуги. Затраты на вводимые ресурсы существенно варьируются по регионам одной страны, а также между странами и континентами. Кроме того, неравномерно распределяется доступ к технологии, рабочей силе и ноу-хау и способности реагировать на изменения окружающей среды и конъюнктуры рынка. Дальнейшее влияние на производственные затраты, доступ к технологиям и транзакционные издержки оказывают также институциональные модели и культурный уклад. Сочетание указанных факторов обуславливает то, что системы производства продукции животноводства становятся более масштабными, более специализированными и более интенсивными (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010).

29. Системы производства продукции животноводства – это динамичные системы в силу постоянного развития и изменения технологий, рынков, транспортной сферы и логистики. Все чаще животные продукты становятся "мировым товаром", а системы производства продукции животноводства работают на "открытом" и высококонкурентном мировом рынке. Такому ходу событий способствует рост спроса на дешевые животные продукты вследствие увеличения численности городского населения и роста объема душевого потребления животных продуктов, хотя здесь наблюдаются значительные экономические, региональные и континентальные различия. Дополнительный спрос на продукты животноводства сосредоточивается в городах (FAO, 2009; Steinfeld et al., 2010).

30. Быстрое развитие систем производства продукции 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 необходимо принимать во внимание их такое развитие и предвидеть дальнейшие перемены, с тем чтобы обеспечить эффективность и действенность таких стратегий в будущем.

III. Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла

31. 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 "последовательный набор действий, направленных на достижение определенных целей". Управление потоками азота можно определить как *"последовательный набор действий по обращению с азотом и его распределению на сельскохозяйственных предприятиях, направленных на достижение агрономических и природоохранных/экологических целей"* (например, Oenema and Pietrzak, 2002). Агрономические цели связаны с урожайностью и качеством сельскохозяйственных культур, а также с продуктивностью животных в контексте их благополучия. Природоохранные/экологические цели связаны с минимизацией потерь N в сельском хозяйстве. Выражение "с учетом полного азотного цикла" четко указывает на необходимость учитывать все аспекты круговорота азота, в том числе при принятии мер по "снижению выбросов NH₃", для того чтобы не допустить замещения одного вида загрязнения другим. Необходимо также избегать выбросов других загрязнителей и других воздействий, хотя в данном документе они не рассматриваются. Управление потоками азота можно рассматривать как "программное и организационное обеспечение", в то время как методы можно считать "аппаратными средствами" снижения выбросов N. Следовательно, управление потоками N нужно рассматривать в совокупности с методами.

32. Практика управления потоками азота в регионе ЕЭК ООН существенно варьируется, соответственно будут различаться и выбросы NH₃. В целом выбросы азота имеют тенденцию к снижению в тех случаях, когда:

- a) все источники азота на сельхозпредприятии рассматриваются в совокупности с точки зрения всего предприятия как логично организованной структуры и в контексте всего азотного цикла;
- b) со всеми источниками N обращаются и хранят их должным образом;
- c) количество используемого N строго согласуется с потребностями выращиваемых растений и животных;
- d) источники азота используются своевременно по соответствующим методикам в соответствующих количествах и в соответствующих местах;
- e) все возможные пути потерь азота рассматриваются логически последовательно.

Дополнительная информация об управлении потоками N с учетом полного азотного цикла представлена в приложении 1.

33. *Базовая ситуация.* Базовая ситуация – это ситуация на сельхозпредприятии, которое не планирует управлять потоками N и не использует азотные балансы. Ввиду внутренне присущих им различий с точки зрения кругооборота азота следует разграничивать хозяйства разной специализации, такие как:

- a) специализированные растениеводческие предприятия, которые подразделяются на хозяйства, выращивающие:
 - i) пахотные культуры;

- ii) овощи;
- iii) фрукты;
- b) хозяйства по выращиванию жвачных животных с лугопастбищными угодьями, которые специализируются на:
 - i) молочном скоте;
 - ii) мясном скоте;
 - iii) овцах и/или козах;
 - iv) других животных (буйволы, бизоны, олени и т.д.);
- c) смешанные растениеводческо-животноводческие предприятия, в которых доминируют:
 - i) молочный скот;
 - ii) мясной скот;
 - iii) свиньи;
 - iv) птица;
 - v) другие животные;
- d) специализированные безземельные предприятия, имеющие:
 - i) молочный скот;
 - ii) мясной скот;
 - iii) свиней;
 - iv) птицу;
 - v) других животных.

Стратегии категории 1

34. Успешной стратегией повышения эффективности использования N и снижения его потерь является осуществление эффективного управления потоками азота на уровне сельхозпредприятия. Оно подразумевает реализацию набора (цикла) ежегодно повторяющихся общеуправленческих мероприятий, каковыми являются:

- a) анализ:
 - i) потребностей сельскохозяйственных культур и животных в азоте;
 - ii) доступных источников N;
 - iii) условий хранения и возможных утечек;
 - iv) доступных приемов, методов и процедур для эффективного использования N;
- b) процесс принятия решений, включающий:
 - i) разработку возможных вариантов на основе предшествующего анализа;
 - ii) оценку последствий применения различных вариантов; и

- iii) выбор варианта, лучше всего подходящего для достижения агрономических и экологических целей;
- с) планирование, включающее:
 - i) определение в общих чертах того, что необходимо сделать и подвергнуть измерению, т.е. нахождение ответов на вопросы "когда?" и "где?", "как?" и "с каким количеством?";
 - ii) создание фактического плана, в соответствии с которым доступные питательные вещества распределяются таким образом, чтобы максимально увеличить экономическую выгоду при минимальном воздействии на окружающую среду и в то же время не выйти за пределы экологических ограничений;
- d) исполнение, т.е.:
 - i) практическая реализация плана управления потоками азота;
 - ii) принятие во внимание фактического состояния окружающей среды;
 - iii) принятие во внимание наилучших руководящих принципов и рекомендаций по управлению;
- e) мониторинг и контроль, т.е.:
 - i) сбор данных об урожае и содержании N;
 - ii) расчет балансов "вход–выход" по азоту;
- f) оценка (проверка и контроль достигнутых результатов на предмет их соответствия поставленным целям), включая:
 - i) избыток N;
 - ii) эффективность использования азота (ЭИА).

35. Баланс "вход–выход" по азоту (также называемый "балансом у ворот сельскохозяйственного предприятия") может рассматриваться как инструмент мониторинга, способствующий достижению улучшений в практике управления потоками азота (например, Jarvis et al., 2011). Он позволяет регистрировать на уровне предприятия все поступления азота и его совокупный выход в составе полезных продуктов. Разница между объемами всего входящего и выходящего азота – это избыток азота ($N_{\text{изб.}}$), а соотношение объемов всего N, выходящего в составе полезных продуктов, и всего входящего N – это мерило эффективности использования N (ЭИА). $N_{\text{изб.}}$ является показателем давления на окружающую среду и выражается количеством N на га в год. ЭИА – это показатель эффективности использования ресурсов (сколько N-белка в продуктах питания производится на единицу введенного N), который выражается в кг на кг (Doberman, 2007). Оба показателя, $N_{\text{изб.}}$ и ЭИА, в значительной мере зависят от типа сельскохозяйственного предприятия и уровня управления. Как для $N_{\text{изб.}}$, так и для ЭИА можно установить ориентировочные целевые значения – также в зависимости от типа сельскохозяйственного предприятия и уровня управления. В некоторых странах информация об азотном балансе сельхозпредприятия, избытке N и ЭИА азота может классифицироваться как конфиденциальная ("секретная").

36. Балансы "вход–выход" по азоту используются в научных исследованиях уже более 100 лет, а в некоторых странах их уже более 10 лет используют и на сельхозпредприятиях, в том числе и в качестве инструмента регулирования.

Однако опыта использования таких балансов именно как инструмента снижения выбросов NH_3 накоплено меньше. Эффективность их применения для сокращения выбросов NH_3 является самой высокой на предприятиях с высокой плотностью поголовья животных. Составление балансов "вход-выход" по азоту на уровне предприятия требует знаний хозяйственного учета вообще и знаний о поступлении азота и его выходе в частности. Имеющийся на сегодняшний день опыт показывает, что эти балансы хорошо понятны фермерам, и поэтому могут легко использоваться при обмене информацией и для сравнения разных предприятий и их показателей. Это особенно важно потому, что улучшение баланса N – это предпосылка к сокращению сельхозпредприятием своих затрат на закупку минеральных удобрений. Точно так же и для "органических" сельхозпроизводителей, не использующих минеральных удобрений, улучшение азотного баланса означает повышение эффективности использования азота как дефицитного ресурса.

37. $N_{\text{изб.}}$ и ЭИА зависят от специализации сельскохозяйственного предприятия и агрономических и экологических целей. Следовательно, целевые уровни для $N_{\text{изб.}}$ и ЭИА ориентированы на предприятия конкретных типов и должны рассматриваться и оцениваться в региональном контексте.

38. Прогресс в управлении потоками N можно оценивать на основе данных об изменении значений $N_{\text{изб.}}$ и ЭИА с течением времени для определенного сельхозпредприятия или группы предприятий. Для учета междугодных колебаний погодных условий или непредвиденных потерь должен быть установлен пятилетний период. Улучшение управления потоками N будет видно по снижению $N_{\text{изб.}}$ и повышению ЭИА. Совершенствование управления потоками N можно продолжать до достижения уровня "наилучшей практики управления". Такой уровень обычно устанавливается на основе показателей экспериментальных хозяйств или показателей лучших 5% действующих хозяйств из их общего числа. Следовательно, работа по улучшению управления потоками N может продолжаться до тех пор, пока предприятие не достигнет уровня этих лучших 5% действующих хозяйств. В Дании и Нидерландах хозяйства смогли достичь снижения $N_{\text{изб.}}$ и повышения ЭИА примерно на 30% за 5 лет и на 50% за 10 лет (например, Mikkelsen et al., 2010; Oenema et al., 2011). По достижении уровня "наилучшей практики управления" дальнейшее снижение $N_{\text{изб.}}$ и увеличение ЭИА значительно замедляются.

39. В таблице 2 представлены ориентировочные целевые уровни для $N_{\text{изб.}}$ и ЭИА. Следует отметить, что ЭИА связана с $N_{\text{изб.}}$ обратно пропорционально и нелинейно.

Таблица 2

Ориентировочные диапазоны целевых значений $N_{изб.}$ и ЭИА в зависимости от специализации сельскохозяйственного предприятия, видов сельскохозяйственных культур и категорий животных

Специализация сельхозпредприятия	Сельхозкультуры/ категория животных	ЭИА, кг N/кг N	Избыток N, кг/га/год	Примечания
Специализированное растениеводство	Пахотные культуры	0,6–0,9	0–50	Зерновые имеют высокую ЭИА, а корнеплоды, как и листовые овощи, – низкую ЭИА
	Овощи	0,4–0,8	50–100	
	Фрукты	0,6–0,9	0–50	
Системы с пастбищным содержанием жвачных животных	Молочный скот	0,3–0,5	100–150	Высокие надои молока, высокая ЭИА; низкая плотность содержания животных, небольшой Низб.; наличие бобовых культур улучшает ЭИА
	Мясной скот	0,2–0,4	50–150	
	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	
	Птица	0,3–0,6	50–150	
Безземельные системы	Молочный скот	0,8–0,9	не прим.*	Выход N с молоком, животными и навозом = поступления азота; $N_{изб.}$ – это газообразные потери N из помещений для животных и из хранилищ
	Мясной скот	0,8–0,9	не прим.	
	Свиньи	0,7–0,9	не прим.	
	Птица	0,6–0,9	не прим.	
	Другие животные	0,7–0,9	не прим.	

* Не применимо к данному случаю, так как эти сельхозпредприятия почти не имеют земли. Однако избыток N может быть выражен в кг на предприятие в год. Если все продукты животноводства, включая навоз животных и все остатки и отходы, вывозятся, то целевое значение избытка N может находиться в пределах 0–1 000 кг на предприятие в год в зависимости от размера предприятия и газообразных потерь N.

40. Ориентировочные затраты на составление баланса "вход–выход" по азоту находятся в диапазоне от 200 до 500 евро на одно хозяйство в год, в зависимости от типа сельскохозяйственного предприятия и от помощи бухгалтерских и/или консультативных служб. Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением продукции и пуском производства работ, здесь не рассматриваются. В некоторых странах на практике ограничительным фактором

для предприятий может оказаться проблема доступности данных, но, вероятно, не для "экспериментальных" и "пилотных предприятий". Затраты имеют тенденцию со временем снижаться (эффект учения).

41. Чистые затраты на улучшение управления потоками N и обеспечение за счет этого повышения ЭИА и снижение $N_{изб.}$ находятся в диапазоне от -1 до +1 евро на кг N (Рабочее совещание ЦГХАА по экономическим затратам на борьбу с выбросами NH_3 , Париж, октябрь 2010 года). Чистые затраты представляют собой разность между выигрышем от экономии на удобрениях и повысившихся производственных показателей и валовыми затратами на отбор проб и анализы, обучение и оплату консультативных услуг.

42. Понимание i) стоимости N в производстве продуктов питания, ii) потерь азота, связанных с их производством на национальном уровне, и iii) возможных вариантов повышения ЭИА на этом уровне обеспечивают национальные бюджеты по азоту для сельского хозяйства. Такие бюджеты, в которых N измеряется в кг на га в год, также являются средством сравнения сельскохозяйственных секторов разных стран региона ЕЭК ООН и оценки прогресса в решении задач по сокращению общих потерь, обусловленных национальными циклами N. Для составления национальных бюджетов по N установлены единые формы и процедуры (доступные в режиме онлайн). Затраты на составление бюджета по N на национальном уровне находятся в пределах от 10 000 до 100 000 евро в год, в зависимости от наличия статистических данных. Следует отметить, что затраты, связанные с обучением, продвижением продукции и пуском производства, здесь не рассматриваются. В некоторых странах ограничивающим фактором может быть доступность данных. Для расчета национальных бюджетов по азоту Целевой группой по химически активному азоту был подготовлен отдельный руководящий документ, в котором подробно описаны методы их расчета (неофициальный документ 8, Исполнительный орган по КТЗВБР-30, 30 апреля – 4 мая 2012 года).

IV. Стратегии кормления сельскохозяйственных животных

43. Газообразные потери N в животноводстве происходят в результате его эмиссии из фекалий (кала) и мочи, которые выделяют животные. Большое влияние на физиологическое состояние животных и состав кала и мочи, а следовательно, и на выбросы NH_3 оказывают состав кормов и практика кормления животных. В данном разделе особое внимание уделяется стратегиям кормления, направленным на снижение выбросов NH_3 . Дополнительная информация о "стратегиях кормления" приводится в приложении 2.

44. *Базовые методы.* Стратегии снижения выбросов, представленные в данном разделе, не определяются и не оцениваются со ссылкой на единообразную "базовую" (т.е. не предусматривающую принятия мер по ограничению выбросов, или исходную) стратегию кормления, поскольку эти "базовые" стратегии в разных странах ЕЭК ООН различны. Необходимо различать и категории животных, поскольку требования к кормам и, следовательно, выделения азота у разных категорий животных существенно различаются.

45. Одним из наиболее затратоэффективных и стратегических способов сокращения выбросов NH_3 является низкопротеиновое кормление животных. На каждый процент (в абсолютном выражении) снижения содержания протеина в кормах животных выбросы NH_3 из животноводческих помещений, навозохра-

нилищ и в результате внесения навоза в почву уменьшаются на 5–15%, в зависимости, в частности, от pH мочи и кала. Низкопротеиновое кормление животных снижает также выбросы N_2O и повышает эффективность использования азота в животноводстве. Кроме того, при условии соблюдения требований по всем аминокислотам этот метод не влечет за собой никаких последствий для здоровья и благополучия животных.

46. Метод низкопротеинового кормления животных наиболее применим при содержании животных в помещении и менее применим в системах, основанных на пастбищном содержании животных, так как трава находится на начальном этапе физиологического развития и, следовательно, содержит много способного к разложению белка и поскольку относительно высоким содержанием протеина отличаются пастбища с бобовыми культурами (например, клевером и люцерной). Хотя стратегии снижения содержания протеина в травостое (внесение сбалансированных по азоту удобрений, выпас/скашивание пастбищ на более поздних этапах физиологического развития травы и т.д.), а также в рационе для систем, основанных на пастбищном содержании животных (дополнительное кормление низкопротеиновыми кормами) существуют, эти стратегии не всегда можно применять в полном объеме.

47. Экономические затраты на осуществление стратегий кормления животных, направленных на снижение потенциала эмиссии NH_3 из экскрементов животных путем регулирования содержания сырого протеина, зависят от исходного состава корма и рыночных цен на его компоненты. В целом эти затраты колеблются от –2 до +2 евро на килограмм сохраненного NH_3-N , т.е. существуют потенциальный чистый выигрыш и потенциальные чистые издержки. Обычно с повышением целевого показателя сокращения потенциала эмиссии NH_3 экономические затраты увеличиваются. Растущие предельные издержки отчасти обусловлены затратами на добавление синтетических аминокислот вместо использования соевых бобов. Затраты на добавление аминокислот имеют тенденцию к снижению. При понижении целевого уровня содержания белка в корме эти затраты возрастают (см. также приложения 1 и 2).

Стратегии кормления категории 1 для молочного и мясного скота

48. Снижение содержания сырого протеина (СП) в рационе жвачных животных представляет собой эффективную стратегию снижения потерь NH_3 , относящуюся к категории 1. В данном случае действуют следующие руководящие принципы (таблица 3):

а) среднее содержание сырого протеина в рационе молочного скота не должно превышать 15–16% по сухому веществу (Broderick, 2003; Svenson, 2003). Для мясного скота старше шести месяцев оно может быть дополнительно снижено до 12%;

б) фазовое кормление может быть организовано таким образом, чтобы содержание сырого протеина в рационе для молочного скота постепенно снижалось с 16% сухого вещества непосредственно перед отелом и в период ранней лактации до менее 14% в период поздней лактации и в течение основной части сухостойного периода;

в) фазовое кормление можно применять и в случае мясного скота, но таким образом, чтобы содержание сырого протеина в рационе с течением времени постепенно снижалось с 16 до 12%.

Таблица 3

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина (СП) в процентах к сухой массе рациона и достигаемая в результате эффективность использования N (ЭИА) КРС в массовых долях (кг/кг) для КРС
(см. текст и приложение 2)

<i>Виды КРС</i>	<i>СП в %*</i>	<i>ЭИА для продукции КРС (кг/кг)</i>
Молоко + поддержание физиологического состояния – ранняя лактация	15–16	0,30
Молоко + поддержание физиологического состояния – поздняя лактация	12–14	0,25
Нелактующие (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

* Приведенные в таблице величины можно рассматривать как "высокий целевой уровень".

49. Во многих частях мира скотоводство основано на системах с пастбищным или частично пастбищным содержанием животных. В таких системах трава и ее производные с высоким содержанием протеина составляют значительную долю рациона, и достижение целевых значений содержания сырого протеина, указанных в таблице 3, может быть сопряжено с трудностями ввиду высокого содержания сырого протеина в траве с культурных пастбищ. Содержание сырого протеина в свежей траве в период выпаса (2 000–2 500 кг сухого вещества на га) часто находится в диапазоне от 18% до 20% (или является даже большим, особенно если присутствуют бобовые культуры), его содержание в силосе часто колеблется от 16% до 18%, а в сене – в пределах от 12% до 15% (например, Whitehead, 2000). Напротив, содержание сырого протеина в кукурузном силосе составляет лишь около 7%–8%. Таким образом, рационы, основанные на травах, часто содержат избыток протеина, и результирующий высокий объем экскреции N в значительной степени зависит от пропорций 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 самыми высокими в случае летних рационов, основанных на одной траве (или траве в сочетании с бобовыми культурами), при выпасе на молодой и интенсивно удобренной траве или на смеси травы с бобовыми культурами. Однако моча, выделяемая животными на выпасе, обычно просачивается в почву до того, как могут произойти значительные выбросы NH₃, поэтому общие выбросы NH₃ на одно животное у животных на выпасе меньше, чем у животных на стойловом содержании, когда экскременты собираются, хранятся и затем вносятся в почву.

50. Снижение эмиссии NH₃, достигнутое путем увеличения той части года, в течение которой животные находятся на выпасе, будет зависеть от базового значения (эмиссия от животных, содержащихся в помещении), от продолжительности периода выпаса животных и от уровня N в удобрениях, внесенных на пастбище. Возможность увеличения выпаса часто ограничивается типом почв,

рельефом местности, размером хозяйства, его структурой (расстояниями), климатическими условиями и т.д. Следует отметить, что выпас животных может привести к увеличению эмиссии N в других формах (например, вымывание N нитратов и выбросы N₂O). Однако с учетом того, что увеличение периода, в течение которого животные **находятся на выпасе целый день**, оказывает четко выраженное и точно рассчитанное в количественном выражении воздействие на выбросы NH₃, **его можно рассматривать как стратегию категории 1**, направленную на снижение выбросов, которая, однако, зависит от времени выпаса (см. также пункты 52, 184 и 185). Реальный потенциал снижения выбросов будет зависеть от базовой ситуации в каждом животноводческом секторе каждой страны. Влияние изменения периода частичного стойлового содержания (например, выпас только в дневное время) является менее определенным, и поэтому данная стратегия отнесена к категории 2. Переход от полностью стойлового содержания к выпасу в течение части дня менее эффективен с точки зрения снижения выбросов NH₃, чем переход на круглосуточное содержание животных на выпасе, поскольку помещения и хранилища остаются загрязненными и по-прежнему являются источником эмиссии NH₃. Предполагается, что управление выпасом (загонный выпас, ротационный выпас, постоянный выпас) оказывает незначительное дополнительное влияние на потери NH₃, и поэтому эта стратегия относится к категории 3.

51. В целом повышение соотношения энергии и протеина в рационе за счет использования более старой травы (с большей высотой травостоя) или кормовых злаков из валков и/или дополнения травы высококалорийными кормами (например, силосом из кукурузы) является стратегией категории 1. Однако для систем производства продукции скотоводства, основанных на пастбищном содержании, осуществимость таких стратегий может быть ограниченной, так как более старая трава может снизить качество кормления, особенно когда условия для выращивания высококалорийных кормов плохие (например, в жарком климате), и поэтому их приходится покупать. Следовательно, полное использование преимуществ выращивания трав (в условиях ограниченного производства, например при наличии квот на молоко или ограничений на плотность поголовья) гарантировано быть не может. Поэтому улучшение белково-энергетического баланса в хозяйствах с пастбищным содержанием животных, не имеющих возможности выращивать высококалорийные корма, рассматривается как стратегия категории 2.

Стратегии кормления категории 1 для свиней

52. 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 исследуются и другие методы, которые могут стать доступными в будущем (например, разные корма для самцов (хряков и боровов) и самок).

53. Содержание сырого протеина в рационе свиней можно снизить, если оптимизировать поступление аминокислот путем добавления синтетических аминокислот (например, лизина, метионина, треонина, триптофана) или специальных кормовых компонентов, используя наилучшую доступную информацию об "идеальном протеине" в сочетании с информацией о разных добавках в рацион.

54. В зависимости от производственной группы свиней и текущего исходного уровня можно достичь снижения содержания сырого протеина в корме на 2%–3%. В таблице 4 показан полученный в результате диапазон содержания сырого протеина в рационе. Значения, приведенные в таблице, являются ориентировочными целевыми уровнями, и, возможно, их необходимо будет адаптировать к местным условиям. Было доказано, что снижение содержания сырого протеина в рационе свиней на заключительной стадии откорма на 1% ведет к 10-процентному снижению содержания ОАА (общий $\text{NH}_3\text{-N}$) в свином навозе и 10-процентному снижению выбросов NH_3 (Canh et al., (1998b)).

Таблица 4

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина в корме для свиней

(приняты на основе BREF, 2003 год; см. также текст и приложение 2)

<i>Категории</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание сырого протеина, %*</i>
Отъемыш	< 10 кг	19–21
Поросенок	< 25 кг	17–19
Свинья на откорме	25–50 кг	15–17
	50–110 кг	14–15
	> 110 кг	12–13
Свиноматки	Супоросные	13–15
	Подсосные	15–17

* 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 сырого протеина см. в приложении 2).

Стратегии кормления категории 1 для птицы

55. Что касается птицы, то потенциал для уменьшения экскреции N путем принятия мер по их кормлению более ограничен, чем в случае свиней, так как достигнутая к настоящему времени средняя эффективность конверсии уже и так высока, а вариабельность в пределах стада птиц больше. В зависимости от вида и текущего исходного уровня можно достичь уменьшения содержания сырого протеина на 1%–2%. В таблице 5 представлен полученный диапазон значений содержания сырого протеина в рационе. Значения в таблице являются ориентировочными целевыми уровнями, которые, возможно, необходимо будет адаптировать к местным условиям. В государствах – членах ЕС и странах Северной Америки в настоящее время ведутся дальнейшие прикладные исследования в области питания, и, возможно, они будут способствовать снижению выбросов в будущем. Снижение содержания сырого протеина на 1%–2% – это мера категории 1 для молодняка и птицы на заключительном этапе откорма.

Таблица 5

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина в корме для птицы (приняты на основе BREF-2003; см. также текст и приложение 2)

<i>Категория</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание сырого протеина в %*</i>
Цыплята-бройлеры	Начальный период откорма	20–22
	Период роста	19–21
	Завершающий период откорма	18–21
Куры–несушки	18–40 недель	15,5–16,5
	40+ недели	14,5–15,5
Индейки	< 4 недель	24–27
	5–8 недель	22–24
	9–12 недель	19–21
	13+ недели	16–19
	16+ недели	14–17

* При правильно сбалансированном и оптимальном поступлении аминокислот. Значения, представленные в таблице, могут рассматриваться как "средний–высокий целевой уровень" (более подробное описание целевых уровней содержания сырого протеина см. в приложении 2).

V. Содержание сельскохозяйственных животных

A. Системы содержания молочного и мясного скота

56. Методы сокращения выбросов NH_3 из помещений для КРС опираются на использование одного или нескольких из нижеперечисленных принципов:

- 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 движения 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 выпаса;
- g) очистка воздуха, т.е. удаление из воздуха NH_3 путем принудительной вентиляции в сочетании с применением воздушных фильтров.

При использовании мер по сокращению выбросов из помещений для скота важно минимизировать потери содержащегося в навозе NH_3 во всей цепочке работы с навозом, а также при его хранении и внесении, чтобы максимально увеличить выгоду от сокращения затрат на борьбу с выбросами.

57. Системы содержания КРС в регионе ЕЭК ООН различаются. В то время как наиболее распространенным является беспривязное содержание, в некото-

рых странах крупный рогатый скот все еще содержится на привязи. При беспривязном содержании все экскременты или какая-то их часть собираются в жидкой форме. В системах, где производится твердый навоз (например, при содержании на соломе), он может ежедневно удаляться из помещения или оставаться на месте в течение целого сезона, например при содержании на глубокой подстилке. Больше всего исследованы системы с беспривязно-боксовыми коровниками для молочных коров, где эмиссия NH_3 происходит с загрязненных щелевых и/или сплошных полов, а также из навоза в ямах или каналах, расположенных под решетками/полом.

Базовая система. При содержании КРС в помещениях базовой считается система их содержания в беспривязно-боксовых коровниках (таблица 6). Крупный рогатый скот, который содержится на привязи, выделяет меньше NH_3 , чем животные на беспривязном содержании, так как экскрементами и мочой загрязняется меньшая площадь. Однако привязное содержание не рекомендуется по соображениям благополучия животных, за исключением случаев, когда предусматривается ежедневный прогулочный моцион. Привязная система содержания является традиционной базовой системой, служащей целям поддержания непрерывности в работе по инвентаризации выбросов.

58. *Учет соображений, касающихся благополучия животных,* как правило, имеет следствием увеличение площади загрязненной зоны передвижений животных в расчете на одну голову, усиление вентиляции, возможное понижение температур в зимний период и общее увеличение объема выбросов. Поэтому изменения в проектах строений в соответствии с новыми нормативными положениями о благополучии животных в некоторых странах (например, переход от привязного к беспривязному содержанию) приведут к увеличению выбросов NH_3 , если одновременно не будут приняты меры по борьбе с этим увеличением. Реконструкция соответствующих строений или ведение нового строительства с целью выполнения нормативных требований к благополучию животных предоставляют хорошую возможность для одновременного введения мер по уменьшению выбросов NH_3 , относительные затраты на которые в связи с модернизацией будут уменьшены.

59. *Сравнение систем содержания с образованием твердого навоза и систем с образованием жидкого навоза.* При использовании системы содержания КРС на соломенной подстилке, когда образуется твердый навоз, скорее всего, выделяется не меньше NH_3 , чем при использовании систем с жидким навозом. Кроме того, потери закиси азота (N_2O) и двухатомного азота (N_2) из-за (де)нитрификации в системах подстилочного содержания обычно бывают большими, чем в системах с образованием жидкого навоза. Хотя твердый подстилочный навоз после его поверхностного внесения на поля, по-видимому, эмитирует меньше NH_3 , чем жидкий навоз (см., например, Powel et al., 2008a), последний дает больше возможностей в плане применения низкоэмиссионных машин для внесения навоза. Физическое разделение фекалий (содержащих уреазу) и мочи при использовании системы содержания в помещении уменьшает гидролиз мочевины, что ведет к уменьшению выбросов как из помещений для животных, так и при разбрасывании навоза (Burton, 2007; Fanguiro et al., 2008a, 2008b; Moller et al., 2007). При проверке любых сокращений выбросов NH_3 , достигнутых за счет использования системы с твердым навозом в противовес системе, при которой образуется жидкий навоз, и благодаря разделению навоза на твердую и жидкую фракции следует принимать во внимание все стадии эмиссии (содержание животных в помещениях, хранение навоза и его внесение на поля).

Методы категории 1

60. Надежным методом сокращения выбросов NH_3 является применение при содержании молочного и мясного скота в помещениях *системы "рифленого пола"*, в которой используются "зубчатые" скребки, движущиеся по рифленому полу. Канавки на рифленом полу должны быть снабжены отверстиями для стока мочи. Это позволяет получить чистый, низкоэмиссионный пол с хорошим сцеплением для предотвращения скольжения животных. Размер сокращения выбросов аммиака находится в пределах от 25 до 46% по сравнению с базовой системой (Smits, 1998; Swierstra et al., 2001).

61. В помещениях с традиционным щелевым полом (без уклона, с 1-процентным уклоном или рифленным) при применении оптимальной системы обеспечения микроклимата с теплоизоляцией крыши и/или естественной вентиляцией с автоматическим управлением может быть достигнуто умеренное сокращение выбросов (20%) за счет снижения температуры (особенно летом) и скорости воздуха (Braam et al., 1997a; 1997b; Smits, 1998; Monteny, 2000).

62. Эффективной мерой по сокращению выбросов NH_3 является уменьшение количества экскрементов животных в системах содержания животных путем продления времени их выпаса. Хотя выбросы при выпасе увеличиваются, выбросы из помещений для животных уменьшаются значительно больше – при условии обеспечения чистоты поверхностей в помещении, когда животные находятся на выпасе. Общий объем выбросов в год (из помещений для животных, при хранении и внесении навоза) в хозяйствах молочного направления при почти круглосуточном выпасе может сократиться до 50% (Bracher et al., 2012) по сравнению с полностью безвыгульным содержанием. Хотя продление выпаса является надежной мерой по сокращению аммиачной эмиссии от молочных коров, уровень сокращения выбросов зависит от продолжительности ежедневного выпаса и от чистоты зданий и мест содержания. Выпас относится к методам категории 1, если животные пасутся весь день или если навозом ежедневно загрязняется очень небольшая площадь пола. Выпас в течение менее 18 часов в сутки нужно отнести к категории 2 из-за неопределенности количественных расчетов объема выбросов. В ряде случаев выпас может способствовать увеличению вымывания или росту патогенной и биогенной нагрузки на поверхностные воды (см. также пункты 40, 184 и 185).

Методы категории 2

63. В Нидерландах были протестированы *различные улучшенные типы полов* на основе щелевых или сплошных профилированных бетонных элементов. Такие технические решения позволяют сократить эмиссию как с пола (повышенный сток) мочи, так и из ямы (сокращение воздухообмена за счет резиновых клапанов в щелях пола). Эффективность уменьшения выбросов зависит от конкретных технических характеристик системы. Поэтому данная мера отнесена к категории 2 и не включена в таблицу 6.

64. *Подстилочный материал* в помещениях для животных может также оказывать влияние на выбросы NH_3 . При определении эмиссии аммиака с пола коровников физические характеристики (способность поглощать мочу, объемная плотность) подстилки более значимы, чем ее химические характеристики (pH, емкость катионного обмена, соотношение углерода и азота) (Misselbrook and Powell, 2005; 2008a; Gillespy et al., 2009). Однако влияние подстилки на выбро-

сы в конкретных системах требует дополнительной оценки с учетом всей цепочки обращения с навозом.

65. *Химические или кислотные скрубберы*, хотя и являются эффективными средствами сокращения выбросов NH_3 из принудительно вентилируемых свинарников, не могут, как правило, использоваться в помещениях для содержания КРС, которые во всем регионе ЕЭК ООН по большей части проветриваются естественным образом. Кроме того, объем данных по скрубберам для коровников невелик, и поэтому в настоящее время их относят к методам категории 2 (Ellen et al., 2008).

Методы категории 3

66. *Скребоквые и смывные системы*. Был опробован ряд систем для регулярного удаления жидкого навоза с пола в закрытое хранилище, расположенное вне здания. В таких системах применяется смывание водой, кислотой, разбавленным или механически разделенным жидким навозом или соскребывание скребками с разбрызгивателями воды или без таковых. В целом такие системы оказались неэффективными и слишком сложными в эксплуатации. Использование гладких полов и/или полов с уклоном для облегчения очистки скребками или смывания увеличивает скольжение, которое причиняет очень большой вред здоровью коров. Поэтому данные системы рассматриваются как методы категории 3.

67. В таблице 6 приводится краткая информация о выбросах и их сокращении при использовании различных систем содержания КРС (базовая система и методы категории 1 и 2).

Таблица 6

Выбросы аммиака при использовании различных систем содержания КРС (базовая система и методы категории 1 и 2)

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

^a Системы привязного содержания являются нежелательными из соображений, касающихся благополучия животных. Эти системы – традиционные базовые системы, служащие целям поддержания непрерывности в работе по инвентаризации выбросов.

^b Выбросы при постоянном содержании животных в помещении.

^c При площади передвижения, равной 4–4,5 м² на голову, и безвыгульном содержании.

^d Эти цифры действительны для выпаса 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 содержать поверхности коровника в чистоте.

Неприм. – неприменимо.

В. Системы содержания свиней

68. *Базовая система.* За базу принимают выбросы из свиарников с полностью щелевым полом или подпольным навозохранилищем, хотя в некоторых странах такие системы запрещены из соображений благополучия животных.

69. Технические решения по сокращению выбросов NH₃ из систем содержания свиней подробно описаны в СДНИМ (2003) и опираются на следующие принципы:

а) сокращение поверхности навоза, например площади загрязненных полов и поверхности жидкого навоза в каналах с наклонными стенками. Частично щелевые полы (примерно 50% площади) в целом выделяют меньше NH₃, особенно если планки являются не бетонными, а металлическими или имеют пластиковое покрытие, что позволяет навозу быстро и полностью спадать в расположенную внизу яму. Эмиссия со сплошных полов сокращается благодаря наклонным гладким поверхностям и за счет размещения оборудования для кормления и поения таким образом, чтобы минимизировать загрязнение полов, а также с помощью эффективной системы обеспечения микроклимата в здании;

б) удаление жидкого навоза из ямы во внешнее хранилище вакуумным или самотечным способом или с помощью смывных систем по крайней мере дважды в неделю;

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

г) циркуляция грунтовых вод в плавающих теплообменниках для охлаждения поверхности навоза в подпольной яме по крайней мере до 12 °С. Ограничения включают затраты и необходимость размещения источника грунтовых вод вдали от источника питьевой воды;

д) изменение химических/физических свойств навоза, например понижение pH;

е) использование гладких и легких для уборки поверхностей (см. пункт а) выше);

ж) очистка удаляемого воздуха кислотными скрубберами или капельными биофильтрами;

з) понижение температуры и снижение воздухообмена внутри здания с учетом соображений, касающихся благополучия и продуктивности животных, особенно зимой;

и) уменьшение потока воздуха над поверхностью навоза.

70. При определенной ширине планок навоз стекает с бетонных планок менее эффективно, чем с металлических планок и планок с пластиковым покрытием, и это влечет за собой увеличение выбросов NH₃. Следует отметить, что из

соображений благополучия животных стальные планки в некоторых странах использовать не разрешается.

71. Эти виды перекрестного воздействия разных сред были приняты во внимание при определении НИМ для проектирования различных животноводческих помещений. Например, частый смыв жидкого навоза (обычно один раз утром и один раз вечером) вызывает появление неприятного запаха. Кроме того, при смыве жидкого навоза потребляется энергия, за исключением тех случаев, когда используются пассивные системы, управляемые вручную.

72. Ожидается, что использование соломы для содержания свиней будет возрастать из-за соображений благополучия животных. В сочетании с (автоматически управляемыми) 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 с щелевым полом для сбора навоза. Однако свиньи не всегда используют эти зоны желаемым образом, пользуясь зоной с подстилкой для испражнений, а щелевой зоной – для охлаждения в жаркую погоду. В целом станки должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить желаемое поведение свиней при испражнении в целях минимизации загрязнения сплошных полов. Этого труднее добиться в регионах с теплым климатом. Следует отметить, что комплексная оценка использования соломы должна учитывать 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.

73. *Базовый метод для свиней на выращивании/откорме.* Базовая система, обычно используемая в Европе, – это полностью щелевой пол с глубокой подпольной ямой и механической вентиляцией; выбросы при использовании такой системы колеблются от 2,4 до 3,2 кг NH₃ на одну свинью в год. Так как свиньи на дорастивании/откорме всегда содержатся группами, для дорастивания свиней годится большинство систем, используемых для группового содержания свиноматок.

74. *Базовый метод для подсосных свиноматок.* Опоросившихся свиноматок в Европе обычно размещают в станках со стальным или пластиковым решетчатым полом и глубокой подпольной ямой для навоза. В большинстве свинарников свиноматки ограничены в перемещении, в то время как поросята могут передвигаться свободно. Все свинарники оснащены управляемой вентиляцией и часто имеют обогреваемую зону для содержания поросят в течение первых нескольких дней после рождения. Различие между полностью и частично щелевыми полами для подсосных свиноматок не столь значимо, как для свиней на дорастивании, поскольку свиноматки ограничены в передвижении и испражняются только в зоне щелевого пола. Таким образом, методы сокращения выбросов ориентированы на модификацию навозной ямы.

75. *Базовый метод для холостых и супоросных свиноматок.* Базовая система содержания холостых и супоросных свиноматок – это полностью щелевой пол (с бетонными планками) с глубокой ямой. В настоящее время холостые и супоросные свиноматки содержатся по отдельности или группами. Повсюду в ЕС групповое содержание обязательно во вновь построенных помещениях для содержания свиноматок, а начиная с 2013 года все холостые и супоросные свиноматки должны будут содержаться группами в течение четырехнедельного периода после оплодотворения. Системы группового содержания требуют использования специальных систем кормления (например, установки электронных

кормушек для свиноматок или открытых станков), а конструкторское решение станка должно заставлять свиней испражняться и отдыхать в разных зонах. Уровень выбросов при групповом содержании аналогичен уровню выбросов при индивидуальном содержании (Groenestein et al., 2001), и в данном случае могут использоваться аналогичные методы сокращения выбросов.

76. *Базовый метод для поросят–отъемышей.* Отъемыши содержатся группой либо в обычных станках, либо в приподнятых клетках (ярусных клетках). Поскольку в обоих случаях используется аналогичный метод удаления навоза, предполагается, что меры по сокращению выбросов, применяемые к обычным станкам для отъемышей, могут применяться также и к ярусным клеткам.

77. В таблице 7 приводится краткая информация о технических решениях и методах сокращения выбросов, в частности расчетных эффективности и затратах для всех классов свиноматок. Расчетные затраты широко варьируются в зависимости от конкретных условий на предприятии, например от размера строения. Следует отметить, что некоторые методы являются очень дорогостоящими для применения в существующих помещениях. Информацию об экономических затратах на низкоэмиссионные методы и стратегии можно найти у Рейса (Reis, 2012).

78. Исследование, проведенное в 2007 году, показало, что общие расходы на сокращение выбросов NH_3 из систем содержания свиней в Нидерландах, в которых используются главным образом скрубберы, составляли в среднем 0,016 евро на кг произведенной свинины в тушах (Baltussen et al., 2010). Ко времени проведения исследования технологии, сокращающие выбросы на целевую величину – от 40 до 60% (выбросы из совмещенных систем содержания животных и хранения навоза), уже внедрили только крупные предприятия (согласно КПОЗ). Однако, согласно расчетам, в 2013 году, когда как нормы выбросов, так и стандарты благополучия животных должны будут соблюдать даже мелкие свинофермы в Нидерландах, эти расходы увеличатся до 0,04 евро на килограмм. Если предположить, что с одного скотоместа получают 200 кг мяса в год, то расходы на сокращение выбросов NH_3 и принятие мер по обеспечению благополучия животных составят 7,2 евро на скотоместо или 3 евро на кг сохраненного $\text{NH}_3\text{-N}$; в Нидерландах обе эти оценки считаются достоверными. Оценки не учитывают тот факт, что часть сохраненного NH_3 может быть потеряна далее в цепочке обращения с навозом.

79. Все системы сокращения выбросов, упомянутые в пунктах 80–90, основаны на принципах, изложенных в пункте 69.

Методы категории 1

80. Выбросы аммиака могут быть сокращены на 25% за счет уменьшения площади поверхности, с которой происходит эмиссия, путем частого и полного удаления жидкого навоза со дна ямы посредством его отвода с помощью вакуумной системы. Где это возможно, данный метод не требует никаких затрат.

81. Частично щелевой пол, составляющий 50% площади пола, обычно выделяет NH_3 на 15–20% меньше, особенно если планки изготовлены из металла или имеют пластиковое покрытие, к которым навоз прилипает меньше, чем к бетону. Снижение риска эмиссии со сплошной части пола может быть достигнуто за счет использования наклонной (или выпуклой) гладкой поверхности и надлежащего размещения оборудования для кормления и поения, с тем чтобы свести к минимуму загрязнение зоны сплошного пола, а также благодаря над-

лежащему контролю за микроклиматом (Aarnink et al., 1996; Guigand and Courboulay, 2007; Ye et al., 2008a, 2008b).

82. Дальнейшее сокращение площади эмиссии может быть достигнуто за счет уменьшения как площади частично щелевого пола, так и расположенной под ним ямы. При меньшей щелевой зоне риск увеличения загрязнения сплошного пола может быть уменьшен за счет обустройства небольшой второй щелевой зоны с водосливным каналом под ней на другом конце станка, где свиньи обычно питаются и пьют. Канал заполняется водой примерно на 2 см для разбавления любого попадающего туда навоза. Эмиссия с этого щелевого участка будет небольшой, так как любой попавший в канал навоз будет разбавлен. Эта комбинированная система навозного и водосливного каналов может сократить выбросы NH_3 на 40–50% в зависимости от размера водосливного канала.

83. Сокращение площади эмиссии при наличии одной или двух наклонных стенок в яме в сочетании с частично щелевым полом и частым удалением навоза может позволить сократить выбросы в размере до 65%.

84. Сокращение площади эмиссии за счет мелких V-образных желобов (максимальная ширина – 60 см, глубина – 20 см) может уменьшить выбросы в свинарниках на 40–65% в зависимости от категории свиней и наличия частично щелевого пола. Желоба должны промываться два раза в день жидкой (разжиженной) фракцией навоза, а не водой; смыв водой: разбавляет навоз и увеличивает расходы на его транспортировку.

85. В случае подсосных свиноматок может быть достигнуто сокращение выбросов на 65% за счет сокращения площади эмиссии посредством устройства ванны под щелевым полом станка. Ванна представляет собой как бы второй пол с уклоном (по меньшей мере на 3°) со стоком для навоза в самой нижней точке. Хотя такая ванна может быть встроена в уже существующее помещение, на практике реконструкция системы навозоудаления может оказаться весьма дорогостоящей.

86. Сокращения выбросов NH_3 можно достичь за счет подкисления жидкого навоза для сдвига химического баланса с NH_3 на NH_4^+ . Навоз (особенно жидкая фракция) собирается в резервуар с подкисленной жидкостью (обычно это серная кислота, но могут использоваться и органические кислоты), поддерживающей pH ниже 6. При содержании поросят наблюдалось сокращение выбросов на 60%.

87. Методом категории 1 является поверхностное охлаждение навоза радиаторами с использованием замкнутой системы теплообмена, которое обеспечивает сокращение выбросов на 45–75% в зависимости от категории животных и поверхности охлаждающих радиаторов. Этот метод является наиболее экономичным, если собранное тепло может быть использовано для обогрева других объектов, например помещений для отъемышей (Huynh et al., 2004). В системах содержания с образованием жидкого навоза этот метод может использоваться в уже существующих строениях. Такая система неприменима при использовании соломенной подстилки или при высоком содержании в кормах грубых материалов, так как на поверхности жидкого навоза может появиться слой плавающих отходов.

88. Доказала свою практичность и эффективность на крупных предприятиях в Дании, Германии, Франции и Нидерландах очистка удаляемого воздуха кислотными скрубберами (главным образом серной кислотой) или капельными биофильтрами, поэтому она отнесена к категории 1 (см., например, Melse et al., 2005, Guinand, 2009). Этот метод наиболее экономичен при применении в но-

вых зданиях, так как переоборудование существующих зданий требует внесения дорогостоящих изменений в системы вентиляции. Кислотные скрубберы продемонстрировали эффективность удаления NH_3 в размере 70–90% в зависимости от задаваемых значений pH. Скрубберы и капельные биофильтры также снижают неприятный запах и выбросы дисперсных частиц соответственно на 75% и 70% (Guinand, 2009). Для выяснения применимости этих систем в Южной и Центральной Европе необходима дополнительная информация. Эксплуатационные затраты, связанные с использованием как кислотных скрубберов, так и капельных фильтров, особенно зависят от использования дополнительной энергии для рециркуляции воды и преодоления усиленного обратного давления на вентиляторы. Существуют методы оптимизации, позволяющие минимизировать расходы (Melse et al., 2012), при этом затраты на крупных предприятиях будут ниже.

Методы категории 2

89. Сократить выбросы на 25% за счет частичного покрытия поверхности, с которой происходит эмиссия, могут плавающие шарики в навозосборных ямах. Навоз, падая на шарики, заставляет их поворачиваться, и, поскольку шарики имеют нелипкую поверхность, они поворачиваются чистой стороной вверх. Этот метод может использоваться в существующих помещениях. Поскольку данный метод не оценивался за пределами Нидерландов, его относят к категории 2.

90. Для частого удаления навоза из помещения может использоваться V-образная транспортерная лента, установленная под щелевым полом. Форма ленты обеспечивает непрерывный сток мочи с ее отделением от фермента уреазы, содержащегося в фекалиях, минимизируя таким образом преобразование (гидролиз) мочевины в аммиак. Благодаря быстрому удалению и сокращению образования NH_3 его выбросы снижаются примерно на 70% (Aarnink et al., 2007). Следует отметить, что этот метод не требует оборудования навозосборной ямы, что в некоторой степени компенсирует расходы на строительство. Кроме того, при разделении навоза может быть обеспечено эффективное внесение в почву P и N. Систему с V-образной транспортерной лентой относят к методам категории 2, поскольку она подверглась оценке только в Нидерландах. Она перспективна для использования при содержании свиней всех категорий, но была проверена только на свиньях на откорме.

Таблица 7

Методы категорий 1 и 2: сокращение выбросов и затраты на низкоэмиссионные системы содержания свиней;

сведения о пригодности объектов к переоборудованию см. в тексте

Информацию об экономических затратах на методы сокращения выбросов см. в работе Рейса (Reis, 2012)

Методы категории 1 (кроме отмеченных как методы категории 2)	Выбросы NH_3 (кг NH_3 /ското- место в год) Сокращение выбросов, %	Дополнительные расходы (евро/скотоместо)*	Дополнительные расходы (евро/кг сохраненных NH_3 -N)
Супоросные свиноматки	4,2		
Частое удаление навоза с использованием вакуумной системы	25	0**	0**
Смывные желоба	40	33	23

<i>Методы категории 1 (кроме отмеченных как методы категории 2)</i>	<i>Выбросы NH₃ (кг NH₃/ското- Сокращение место в год) выбросов, %</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/скотоместо)*</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сохраненных NH₃-N)</i>
Охлаждение поверхности навоза	45	19	12
Содержание (групповое) с кормовыми станциями и навозной ямой 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
Подсосные свиноматки	8,3		
Водосливной и навозный канал	50	2	0,5
Подпольная навозная ванна	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 щелевой пол с уменьшенной навозосборной ямой	25–35	0	0
Частое удаление навоза с использованием вакуумной системы	25	0**	0**
Частично щелевой пол и смывные желоба	65	5	14
Частично щелевой пол и сбор навоза в подкисленной жидкости	60	5	15
Частично щелевой пол и охлаждение поверхности навоза	75	3–4	7–10
Частично щелевой пол и навозосборный канал с наклонными стенками	65	2	5–6
Плавающие шарики на поверхности (Кат. 2)	25	1	6–7
Очистка воздуха скрубберами	70–90	4–5	8–12
Свиньи на доращивании и откорме	3,0		
Частично щелевой пол с уменьшенной навозосборной ямой	15–20	0	0
Частое удаление навоза с использованием вакуумной системы	25	0**	0**
Частично щелевой пол с водосливным и навозосборным каналом	40	2	2
Частично щелевой пол с водосливным и навозосборными каналами с наклонными стенками	60–65	3–5	2–3
Смывные желоба	40	10–15	10–15

<i>Методы категории 1 (кроме отмеченных как методы категории 2)</i>	<i>Выбросы NH₃ (кг NH₃/ското- Сокращение место в год) выбросов, %</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/скотоместо)*</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сохраненных NH₃-N)</i>
Частично щелевой пол 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 V-образной транспортной лентой (Кат. 2)	70	0–5	0–3
Очистка воздуха скрубберами	70–90	10–15	5–9

* Стоимость рассчитана для новых зданий. В существующих зданиях можно только смонтировать системы охлаждения, применять плавающие шарики, а также установить скрубберы.

** Если вакуумная система удаления навоза уже установлена.

С. Системы содержания птицы

91. Технические решения по сокращению выбросов NH₃ из систем содержания птицы опираются на следующие принципы:

- a) уменьшение поверхности помета, с которой происходит эмиссия;
- b) частое удаление помета во внешнее хранилище жидкого помета (например, при помощи транспортной ленты);
- 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. Система содержания кур–несушек

92. При оценке систем содержания кур–несушек в государствах – членах Европейского союза (ЕС) должны учитываться требования, установленные европейской Директивой 1999/74/ЕС о содержании кур–несушек (ЕК, 1999 год). Эта директива запрещает использование обычных систем клеточного содержания начиная с 2012 года. Вместо этого разрешены только улучшенные клетки (также называемые клетками улучшенной конструкции) или системы бесклеточного содержания, например на подстилке (или глубокой подстилке) либо в вольере.

93. *Базовая система для обычного клеточного содержания.* В этой системе используется открытое хранилище помета под клетками. Несмотря на введенный в ЕС с 2012 года запрет, в некоторых государствах – членах ЕЭК ООН куры–несушки по-прежнему содержатся в обычных клетках, и в большинстве докладов о сокращении выбросов NH₃ этот тип содержания упоминается как базовый. Эта система по-прежнему остается базовой из соображений обеспечения последовательности в расчетах выбросов при их инвентаризации.

94. *Базовая система для птичников с "улучшенными" клетками.* Эта система может заменить обычные клетки без необходимости значительной реконструкции существующего строения. Улучшенные клетки обеспечивают курам-несушкам большее пространство, включая зоны для гнездования, стачивания когтей и установки насестов. Птицы содержатся группами по 40–60 голов. Наиболее распространенный метод удаления навоза – (вентилируемая) транспортерная лента, расположенная под клетками. Меры по уменьшению выбросов при содержании птицы в улучшенных клетках представлены в отдельной таблице, поскольку базовой является не система с обычными клетками, а система содержания в улучшенных клетках с расположенной внизу транспортерной лентой для регулярного удаления помета без сушки. В Нидерландах и Германии улучшенные клетки не разрешены из соображений благополучия птицы, и вместо этого применяется групповое содержание, или *Kleingruppenhaltung*. Отличие от улучшенных клеток заключается в большей площади поверхности на голову, большей высоте клетки и более четко определенных зонах с подстилкой и гнездами. Эллен и Оджинк (2009 год) обосновали допустимость применения тех же показателей удельных выбросов NH_3 , что и для улучшенных клеток.

95. *Базовая система для бесклеточного содержания: глубокое помехранилище в сочетании с частично покрытым подстилкой полом.* Строение обычно оборудовано ямой для помета глубиной 80–90 см, покрытой деревянными или пластиковыми решетками или прочной сеткой. Помет собирается в ямах, расположенных под решетками, которые занимают две трети площади пола. Остальная треть площади пола покрыта подстилкой, например песком, древесной стружкой или соломой, и используется для стачивания когтей и купания в пыли. Плотность содержания в таких помещениях – до девяти кур на м^2 .

96. *Система напольного содержания (на насестах).* Строение разделено на различные функциональные зоны, используемые для кормления и поения, откладывания яиц, стачивания когтей и отдыха, при этом в соответствующих местах имеется подстилка. Площадь доступной поверхности увеличивается за счет приподнятых щелевых полов в сочетании с ярусами, что обеспечивает плотность содержания до 18 кур на м^2 площади пола. Как и при клеточном содержании, при напольном содержании для сбора помета применяются транспортерные ленты, размещенные под ярусами; для сбора, сушки и удаления подстилки могут устанавливаться вентиляруемые ленты.

97. В ряде стран существует понятие "свободный выгул", которое предполагает, в частности, наличие системы содержания с глубоким накопителем помета, с полом, частично покрытым подстилкой (или глубокой подстилкой) или вольерной системы, обеспечивающей птице доступ наружу. В странах, где "выгульные" куры размещаются на сплошном или частично щелевом полу, площадь сплошного пола покрывается подстилкой, а куры имеют некоторый доступ к наружной территории. Помет накапливается либо на сплошном полу либо под планчатой зоной в течение 14-месячного периода кладки яиц.

Методы категории 1

98. Выбросы аммиака из глубокого пометосборника под клеточной батареей или из канальных систем могут быть сокращены за счет снижения влажности помета путем вентилирования пометной ямы.

99. Сбор помета на транспортерных лентах с последующим его удалением во внешнее крытое хранилище тоже может сократить выбросы NH_3 , особенно если помет был высушен на транспортерных лентах при помощи принудительной

вентиляции. Для того чтобы минимизировать образование NH_3 , помет должен быть высушен до состояния, в котором в нем будет содержаться 60–70% сухого вещества. Помет, поступающий с транспортерных лент в интенсивно вентилируемые тоннельные сушилки, расположенные внутри или снаружи здания, может достичь уровня сухости 60–80% сухого вещества менее чем за 48 часов, но в этом случае время его пребывания на воздухе и объем выбросов увеличиваются. Ежедневное удаление помета с транспортерных лент в крытое хранилище сокращает выбросы на 50% по сравнению с его удалением один раз в две недели. В целом выбросы из помещений для содержания кур-несушек, оснащенных транспортерными лентами для удаления помета, будут зависеть от следующего: а) продолжительности времени, в течение которого помет находится на лентах; б) систем сушки; с) породы птиц; d) интенсивности воздухообмена на ленте (низкий воздухообмен означает большие выбросы); и е) состава корма. Системы напольного содержания с транспортерными лентами, предназначенными для частого сбора и удаления помета в крытые хранилища, сокращают выбросы более чем на 70% по сравнению с системами содержания на глубокой подстилке.

100. В нескольких странах успешно используется очистка отработанного воздуха кислотными скрубберами или капельными биофильтрами (Melse et al., 2005; Ritz et al., 2006; Atterson and Adrizal, 2005; Melse et al., 2012). Кислотные скрубберы удаляют 70–90% NH_3 , а капельные биофильтры – 70% NH_3 , при этом и те и другие удаляют также мелкую пыль и устраняют неприятный запах. Для решения проблемы высоких пылевых нагрузок были разработаны многоступенчатые воздушные скрубберы с предварительной фильтрацией грубых частиц (Ogink and Vosma, 2007; Melse et al., 2008). Однако некоторые Стороны считают, что данный метод относится к категории 2 из-за проблемы содержания пыли в воздухе.

101. Краткая информация о методах сокращения выбросов при содержании птицы в обычных клетках содержится в таблице 8, при содержании птицы в улучшенных клетках – в таблице 9 и при бесклеточном содержании – в таблице 10.

Методы категории 2

102. В бесклеточных системах содержания птицы выбросы аммиака из помещений в размере до 70% уменьшает регулярное добавление к подстилке сульфата аммония (квасцов), благодаря которому также понижается концентрация как NH_3 , так и дисперсных частиц ($\text{PM}_{2,5}$) и улучшается продуктивность. Квасцы также сокращают потери от вымывания фосфора из помета, внесенного в почву. Исследования, проведенные в США, показывают, что выгоды от обработки квасцами вдвое больше затрат на них, однако, поскольку в других странах пока никакого опыта не накоплено, этот метод относят к категории 2.

Таблица 8

**Системы клеточного содержания кур–несушек (базовая система):
методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃**
Информацию об экономических затратах на методы снижения выбросов
см. в работе Рейса (Reis, 2012)

Категория 1	кг NH ₃ /год/ место	Сокращение вы- бросов NH ₃ (%)	Дополнительные рас- ходы (евро/место/год)	Стоимость (евро/кг сохраненных NH ₃ -N/год)
Обычные клетки, невенти- руемое открытое помехохра- нилище под клетками (базовый метод)	0,1–0,2	0	0	0
Обычные клетки, венти- руемое открытое помехохра- нилище под клетками для сушки помета		30		0–3
Обычные клетки, быстрое удаление помета транспор- терными лентами в крытое помехохранилище		50–80		0–5
Очистка удаляемого воздуха скрубберами ^a		70–90		1–4

^a При использовании кислотных скрубберов можно достичь сокращения выбросов на 70–90%, а при использовании биоскрубберов – 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**
Информацию об экономических затратах на методы снижения выбросов
см. в работе Рейса (Reis, 2012)

Категория 1	кг NH ₃ /год/ место	Сокращение вы- бросов NH ₃ (%)	Дополнительные рас- ходы (евро/место/год)	Стоимость (евро/кг сохраненных NH ₃ -N/год)
Транспортерные ленты, уда- ление дважды в неделю (базовый метод)	0,05–0,1			
Вентилируемые ленты, уда- ление дважды в неделю ^a		30–40	0	0
Вентилируемые ленты, уда- ление чаще, чем дважды в неделю		35–45		0–3
Очистка удаляемого воздуха скрубберами ^b		70–90		2–5

^a Размер сокращения зависит от воздухопроизводительности сушильного вентилятора.

^b При использовании кислотных скрубберов можно достичь сокращения выбросов на 70–90%, а при использовании биоскрубберов – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

Таблица 10

**Бесклеточные системы содержания кур–несушек:
методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃**
Информацию об экономических затратах на методы снижения выбросов
см. в работе Рейса (Reis, 2012)

<i>Методы категорий 1 и 2</i>	<i>кг NH₃/год/ место</i>	<i>Сокращение вы- бросов NH₃ (%)</i>	<i>Дополнительные рас- ходы (евро/место/год)</i>	<i>Стоимость (евро/кг сохраненных NH₃-N/год)</i>
Глубокая подстилка или глу- бокое помехохранилище с частичной подстилкой (базовый метод)	0,3	0	0	0
Вольеры, насесты, невенти- лируемые транспортерные ленты для удаления помета (Кат. 1)		70–85		1–5
Вольеры, вентилируемые транспортерные ленты для удаления помета (Кат. 1)		80–95		1–7
Очистка удаляемого воздуха скрубберами ^a		70–90		6–9
Подстилка, частично планча- тый пол, транспортерные ленты для удаления помета (Кат. 2)		75		3–5
Подстилка с принудительной сушкой помета (Кат. 2)		40–60		1–5
Регулярное добавление к под- стилке сульфата алюминия (Кат. 2)		70		?

^a При использовании кислотных скрубберов можно достичь сокращения выбросов на 70–90%, а при использовании биоскрубберов – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

2. Системы содержания бройлеров (таблица 11)

103. *Базовая система для бройлеров.* Базовая система для бройлеров – традиционно используемые в Европе строения со сплошным и полностью покрытым подстилкой полом.

104. Для минимизации выбросов NH₃ при содержании бройлеров важно поддерживать подстилку сухой. На влажность подстилки и выбросы влияют:

- a) конструкция системы поения и ее работа (утечка и расплескивание воды);
- b) вес птицы, плотность содержания и продолжительность периода выращивания;
- c) интенсивность воздухообмена, чистка внутреннего воздуха и наружный климат;
- d) использование теплоизоляции пола;

- e) вид и количество подстилки;
- f) корма.

Методы категории 1

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

106. Очень эффективной в плане удаления NH_3 из вентилируемого воздуха является *технология воздушных скрубберов*, которая, однако, не имеет широкого применения из-за высокой стоимости. Фильтры насадок и кислотные скрубберы, применяемые на сегодняшний день в Нидерландах и Германии, удаляют из уходящего воздуха 70–90% NH_3 . Вопросы продолжительности надежной работы в условиях высокой пылевой нагрузки побудили некоторые Стороны отнести этот метод к категории 2. Разработаны различные скрубберы, обеспечивающие очистку удаляемого воздуха от многих загрязняющих веществ и одновременное удаление запаха и дисперсных частиц (PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$) (Zhao et al., 2011; Ritz et al., 2005; Patterson and Adrizal, 2005).

Методы категории 2

107. *Принудительная сушка.* Эффективное сокращение выбросов может быть достигнуто за счет принудительной сушки, но существующие системы являются энергоемкими и могут повышать выбросы пыли. Однако благодаря улучшенному распределению тепла может быть достигнута некоторая экономия расходов на отопление.

108. *Система "Комбидек".* Данная система состоит из теплообменников, установленных в бетонном полу, причем в начале периода откорма пол нагревается для сушки подстилки, а позднее в период откорма – охлаждается для снижения микробной активности, что уменьшает разложение мочевой кислоты. Поскольку эффективность этого метода зависит от местных условий, он отнесен к категории 2.

109. Использование добавок (сульфата алюминия, микроорганизмов) может сокращать выбросы NH_3 , вести к более высокому содержанию сухого вещества в помете и снижать смертность птицы (Aubert et al., 2011), однако результаты проверки этих методов либо неоднозначны (например, McCrogy and Hobbs, 2001), либо они были проверены лишь в одной стране (в случае добавления сульфата алюминия).

Таблица 11

Система содержания бройлеров: методы и соответствующий потенциал сокращения выбросов NH₃

Данные об экономических затратах на низкоэмиссионные системы содержания немногочисленны, в том числе по той причине, что в настоящее время на практике пока еще используется мало таких систем. Информацию об экономических затратах на методы снижения выбросов см. в работе Рейса (Reis, 2012)

<i>Методы категорий 1 и 2</i>	<i>кг NH₃/год/ место</i>	<i>Сокращение выбросов NH₃ (%)</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/место/год)</i>	<i>Стоимость (евро/кг сохранных NH₃-N /год)</i>
Глубокая подстилка; вентилируемое помещение (базовый метод)	0,080	0		
Помещение с естественной вентиляцией или утепленное помещение с принудительной вентиляцией и с полностью покрытым подстилкой полом, оснащенное герметичной системой поения (Кат.1)		20–30	0	0
Подстилка с принудительной сушкой помета с использованием внутреннего воздуха (Кат.1)		40–60		2–4
Очистка удаляемого воздуха скрубберами (Кат. 1) ^a		70–90		10–15
Ярусный пол и принудительная воздушная сушка (Кат. 2)		90		?
Съемные многоярусные стенки; принудительная воздушная сушка (Кат. 2)		90		?
Система "Комбидек" (Кат. 2)		40		6

^a При использовании кислотных скрубберов может быть достигнуто сокращение выбросов на 70–90%, а при использовании биоскрубберов – на 70%; некоторые эксперты относят этот метод к категории 2.

3. Системы содержания индеек и уток

110. *Базовая система содержания индеек.* Базовая система для индеек, находящихся на откорме – традиционно используемые в Европе строения, со сплошными и полностью покрытыми подстилкой полами в закрытых, теплоизолированных помещениях с принудительной вентиляцией (как для бройлеров) или помещениях с естественной вентиляцией и открытыми боковыми стенами. Помет удаляется в конце каждого периода выращивания. Выбросы аммиака при полностью покрытом подстилкой поле составляют 0,680 кг NH₃-N на птицеместо в год. В большинстве Стран из региона ЕЭК индейки являются незначительным источником выбросов NH₃.

111. *Базовая система содержания уток.* Базовая система содержания уток – это традиционное строение, подобное тому, в котором содержатся бройлеры. Утки, разводимые на мясо, производят полужидкий помет, а утки, разводимые для получения печени ("фуагра"), – твердый помет. К прочим системам содержания уток на откорме относятся системы с частично щелевым/частично покрытым подстилкой полом и полностью щелевым полом. Как и индейки, утки являются незначительным источником NH_3 в регионе ЕЭК ООН.

112. Методы сокращения выбросов аммиака, используемые при выращивании бройлеров, могут применяться и в помещениях для индеек и уток. Однако, за исключением скрубберов, эффективность этих методов будет ниже, чем при содержании бройлеров, из-за большего количества помета и более высокого содержания сухого вещества в подстилке. В Нидерландах эффективность этих методов считается вдвое меньшей по сравнению с методом, применяемым при содержании бройлеров. При содержании уток устанавливают емкости с водой (из соображений благополучия водоплавающих птиц), и тогда эффективность может быть еще ниже. Поэтому эти методы относят к категории 2.

VI. Методы хранения навоза

113. *Базовый метод.* При оценке эффективности мер по сокращению эмиссии из хранилища за базу сравнения принимают эмиссию из хранилища такого же типа без какого-либо покрытия поверхности. Диапазон величин базовой эмиссии – 1,4 и 2,7 кг $\text{NH}_3\text{-N}/\text{м}^2$ в год – определен в порядке допущения на основе данных западноевропейских стран; там, где навоз при хранении замораживается на несколько месяцев, может наблюдаться более низкий уровень эмиссии, а в теплых странах – более высокий. Поскольку исходные данные ограничены, Сторонам предлагается определить соответствующие базовые значения эмиссии для своих условий. В таблице 12 приводятся обобщенные сведения о различных мерах, направленных на сокращение эмиссии из хранилищ жидкого навоза, и их эффективности с точки зрения снижения эмиссии NH_3 .

114. После удаления из помещений для животных жидкий навоз в большинстве случаев хранится в бетонных или стальных емкостях или башенных хранилищах либо в обвалованных землей лагунах. Лагуны обычно имеют большую площадь поверхности на единицу объема, чем емкости, и, по последним данным, в больших лагунах происходит интенсивная химическая денитрификация, которая частично вызвана воздействием ветра. Эмиссия из хранилищ жидкого навоза может быть сокращена за счет уменьшения потока воздуха над поверхностью путем установки плотного или плавающего покрытия, создания условий для формирования поверхностной корки или увеличения глубины хранилища, с тем чтобы снизить отношение площади поверхности к объему хранилища. Вариант с сокращением площади поверхности рассматривается только для новых сооружений. Имеются сопутствующие выгоды: плотные покрытия (и навесы) предотвращают заполнение хранилища дождевой водой и, таким образом, его вместимость становится более прогнозируемой, а при меньшем количестве воды сокращаются расходы на транспортировку навоза; покрытия уменьшают неприятный запах, при этом большинство из них позволяют сокращать выбросы парниковых газов, хотя при определенных условиях применение соломенного покрытия может приводить к увеличению выбросов N_2O ; сокращение отношения площади поверхности к объему обычно приносит такие же сопутствующие выгоды.

115. Для длительного хранения сухого птичьего помета (например, при содержании бройлеров) следует использовать сарай или постройку с герметичным полом и достаточной вентиляцией с целью сохранения помета сухим и сведения к минимуму дальнейших потерь NH_3 .

116. Кроме того, важно минимизировать возможные потери NH_3 при внесении в почву жидкого и твердого навоза из крытых хранилищ, иначе выгоды от крытого хранения "испарятся" вместе с NH_3 .

Методы категории 1

117. *"Плотная" герметичная крышка, кровля или тент.* Зарекомендовавший себя наилучшим образом и наиболее практичный метод сокращения эмиссии из жидкого навоза, хранящегося в резервуарах или башенных хранилищах – это их покрытие плотной крышкой, кровлей или тентом. Несмотря на то что такие покрытия должны хорошо прилегать или быть герметичными для минимизации воздухообмена, необходимо обеспечивать и некоторую вентиляцию, чтобы предотвратить накопление воспламеняющихся газов, особенно метана. Возможность встраивания этих конструкций в *существующие* хранилища зависит от конструктивной целостности хранилищ и их способности выдержать дополнительную нагрузку при внесении изменений.

118. *Плавающее покрытие.* В качестве плавающего покрытия может использоваться пластик, брезент, геотекстиль или другой подходящий материал. Этот метод относится к категории 1 только при использовании в *небольших* обвалованных землях лагунах. Плавающие покрытия трудно применить в емкостях, особенно емкостях, имеющих высокие стенки, из-за значительных перемещений по вертикали, необходимых при их заполнении и опорожнении.

119. Для сокращения эмиссии из жидкого навоза на небольших фермах (например, < 150 свиней на откорме) подходят *мешки для хранения*; следует отметить, что расходы, связанные с этой мерой, включают в себя как расходы на конструкцию для хранения, так и на покрытие.

120. *Образование естественной корки.* Минимизация перемешивания хранящегося жидкого навоза крупного рогатого скота (КРС) и какого-то количества свиного навоза (в зависимости от рациона свиней и содержания сухого вещества в жидком навозе) и добавление нового навоза ниже уровня поверхности обеспечивают возможность формирования естественной корки. Пока корка имеет достаточную толщину и полностью покрывает поверхность навоза, она позволяет значительно сократить эмиссию NH_3 при небольших или нулевых затратах. Эффективность сокращения эмиссии будет зависеть от свойств и периода существования корки (Misselbrook, et al., 2005; Smith et al., 2007). Сокращение выбросов при помощи естественной корки подходит только для сельскохозяйственных предприятий, которым не требуется частное перемешивание навоза для частого внесения и на которых имеется жидкий навоз, образующий корку.

121. На свином навозе, который не образует корку, или на сброженном органическом осадке, поступающем из биогазовых установок, могут легко применяться шарики "LECA" (керамзитовые шарики) и плавающая плитка "Hexacovers". 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 скапливанием воды и появлением разрывов. Кроме того, они просты в применении.

122. *Замена лагун емкостями/башенными хранилищами.* Если мелкие лагуны с земляными стенами заменить более глубокими резервуарами или башенными хранилищами, произойдет пропорциональное сокращение выбросов за счет уменьшения площади поверхности на единицу объема. Эта мера могла бы стать эффективным (хотя и дорогостоящим) вариантом сокращения выбросов NH_3 , особенно в случае покрытия резервуаров крышкой, кровлей или тентом (методы категории 1). Сложно дать количественную оценку экономической эффективности этого варианта, поскольку она в значительной степени зависит от характеристик лагуны и емкости. В высоких конструкциях перемешивание навоза затруднено.

Таблица 12

Меры по сокращению выбросов аммиака из хранилищ навоза КРС и свиного навоза

Информацию об экономических затратах на методы сокращения выбросов см. в работе Райса (Reis, 2012)

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Сокращение выбросов NH_3, в %</i>	<i>Применимость (вро на $\text{м}^3/\text{год}$)^c</i>	<i>Расходы (ТЕКРАСХ)</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сохраненных $\text{NH}_3\text{-N}$)^{**}</i>
Хранение без покрытия и корки (<i>базовый метод</i>)	0			
Герметичная крышка, кровля или тент (Кат.1)	80	Бетонные или стальные резервуары и башенные хранилища. Могут не подходить для существующих хранилищ.	2–4	1,0–2,5
*Пластиковая пленка (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.	0,00	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 (ок. 50% стоимости емкости)	

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Сокращение выбросов NH₃, в %</i>	<i>Применимость (вро на м³/год)^c</i>	<i>Расходы (ТЕКРАСХ)</i>	<i>Дополнительные расходы (евро/кг сохранных NH₃-N)**</i>
Навозные мешки (Кат. 1)	100	Имеющиеся размеры мешков могут ограничить их применение в крупных животноводческих хозяйствах.	2,50 (включая стоимость хранилища)	
Плавающие керамзитные шарики, плавающая плитка "Hexacovers" (Кат. 1)	60	Не применяются на навозе, образующем корку.	1–4	1–5
* Пластиковая пленка (плавающее покрытие) (Кат. 2)	60	Большие лагуны с обваловкой и бетонные или стальные емкости. Практика обращения и другие факторы могут ограничить 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, непрактичны для больших лагун с обваловкой. Неприменимы, если используемые материалы могут затруднить обращение с навозом.	1,50–2,50	0,3–0,9

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

** 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.

Методы категории 2

123. *Плавающие покрытия (для иных хранилищ, помимо небольших лагун с обваловкой).* Существует ряд плавающих покрытий, изготовленных из проницаемых и непроницаемых материалов, которые могут сократить эмиссию NH₃ из хранящегося жидкого навоза путем ограничения контакта между ним и воздухом. Однако все еще существует неопределенность в вопросах эффективности и практичности этих покрытий (за исключением пластиковой пленки, прошедшей многочисленные испытания в небольших лагунах с обваловкой), которые, судя по всему, меняются в зависимости от обращения с ними и других факторов. Примерами могут служить пластиковая пленка, резаная солома и торф. При применении непроницаемых плавающих покрытий требуется обеспечивать вентиляцию и удаление каким-то способом дождевой воды, скапливающейся на их поверхности. Проницаемые плавающие покрытия должны быть тщательно защищены от ветра, при этом оба типа покрытий должны быть рассчитаны на вертикальное перемещение при заполнении и опорожнении хранилища. Срок службы плавающих покрытий проверен недостаточно. Плавающие покрытия могут препятствовать гомогенизации навозной жижи перед внесением и за-

труднять сам процесс внесения. Этот аспект требует внимания технических специалистов и оптимизации.

124. *Покрывтия для стойлового навоза.* Существует несколько вариантов сокращения эмиссии NH_3 при хранении стойлового (твердого) навоза КРС и свиней. Испытания показали, что закрытие куч стойлового навоза пластиковой пленкой позволяет существенно сократить эмиссию NH_3 без значительного увеличения эмиссии метана или закиси азота (Chadwick, 2005; Hansen et al., 2006). В настоящее время этот метод относят к категории 2 из-за необходимости более основательной проверки эффективности сокращения эмиссии и практичности.

VII. Методы внесения навоза

125. *Базовый метод.* Под базовым методом внесения навоза понимают распределение необработанного жидкого или твердого навоза по всей поверхности почвы ("внесение разбрасыванием") без последующей заделки и без целенаправленного выбора времени внесения для минимизации потерь NH_3 . Например, для жидкого навоза типичным будет использование цистерны, оборудованной соплом с отражателем. Для твердого навоза базовым методом является оставление навоза на поверхности почвы без заделки.

126. Эмиссия NH_3 при использовании базового метода, выраженная в процентах от вносимого ОАА (общий аммонийный азот), как правило, находится в пределах от 40% до 60% (хотя эмиссия, выходящая за указанные пределы, также является обычным явлением). Объемы эмиссии меняются в зависимости от состава жидкого или твердого навоза и преобладающих почвенно-климатических условий. Эмиссия NH_3 , выраженная в процентной доле от внесенного ОАА, обычно *снижается с уменьшением* эвапотранспирации (температура воздуха, скорость ветра, солнечное излучение) и содержания сухого вещества в жидком навозе. Эмиссия NH_3 , выраженная в процентной доле от внесенного ОАА, обычно *уменьшается с увеличением* содержания ОАА и скорости внесения. Кроме того, различаются объемы эмиссии из навоза разных видов. Объемы эмиссии также зависят от свойств почвы, определяющих ее водопроницаемость. Например, на хорошо дренированных, грубо структурированных сухих почвах с более высокой водопроницаемостью объемы эмиссии меньше, чем на влажных и уплотненных почвах с пониженной водопроницаемостью (Søgaard et al., 2002). Вместе с тем в пересушенном состоянии некоторые почвы могут стать водоотталкивающими, что также может привести к снижению инфильтрации и, следовательно, к увеличению эмиссии.

127. *Условия, способствующие эффективности снижения эмиссии.* Объем эмиссии меняется в зависимости от состава жидкого и твердого навоза и преобладающих почвенно-климатических условий. В зависимости от указанных факторов также варьируется эффективность методов снижения эмиссии по сравнению с базовым методом. С учетом этого в таблице 14 указаны усредненные значения ряда показателей, которые были получены в ходе большого числа исследований, проведенных в разных странах в разных условиях окружающей среды. Хотя эти факторы также влияют на абсолютную величину эмиссии NH_3 при использовании подходов, обеспечивающих низкие эмиссии, относительные уровни эмиссии являются сопоставимыми, поэтому преимущества использования таких подходов выражаются в виде процента доли сокращения эмиссии по сравнению с эмиссией при использовании базового метода.

128. Методы категории 1 предусматривают применение оборудования, позволяющего существенно уменьшать площадь открытой поверхности жидкого навоза при его поверхностном внесении или заглублять жидкий или твердый навоз в почву путем инъекции или заделки. Экономические затраты на применение этих методов находятся в пределах от 0,1 до 5 евро на 1 кг сохраненных $\text{NH}_3\text{-N}$, при этом наименьшие затраты соответствуют немедленной заделке жидкого или твердого навоза там, где она выполнима (т.е. на свободной пахотной земле). Оценки очень чувствительны к предполагаемому размеру сельскохозяйственного предприятия, при этом экономия на масштабах существенно возрастает на более крупных предприятиях, там, где оборудование с низким уровнем выбросов находится в общем пользовании у нескольких предприятий, или там, где к работам привлекаются специалисты-подрядчики. В категорию 1 включены следующие методы:

- a) ленточное разбрасывание жидкого навоза по поверхности почвы с использованием гибкого шланга 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% при помощи систем водного полива низкого давления.

Усредненные значения эффективности методов сокращения эмиссии NH_3 категории 1 относительно базового уровня и показатели затрат для каждого метода относительно базового уровня приведены в таблице 14 для жидкого навоза и таблице 15 для твердого навоза.

Таблица 14

Методы категории 1 для сокращения выбросов при внесении в почву жидкого навоза*

Меры по сокращению выбросов относятся к методам категории 1, которые перечислены в пункте 123

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)**</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость по сравнению с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг сохраненного $\text{NH}_3/\text{год}$)</i>
a) Ленточное внесение жидкого навоза с использованием гибкого шланга	Пастбища Пахотные земли	30–35%	Более густой растительный покров снижает эмиссию в зависимости от точности внесения и степени загрязнения травостоя	Менее применимо при уклоне > 15% Может использоваться при сплошном узкорядном посеве, а широкие агрегаты могут перемещаться по постоянным колеям	–0,5–1,5 (следует отметить, что затраты могут быть сокращены при использовании оборудования местной конструкции и производства)

Меры по сокращению выбросов	Вид землепользования	Сокращение выбросов (%)**	Факторы, влияющие на сокращение выбросов	Применимость по сравнению с базовым методом	Затраты (евро/кг сохраненного NH ₃ /год)
Ленточное разбрасывание с использованием прицеппных сошников	Пастбища Пахотные земли (предпосевное внесение) и пропашные культуры	30–60%	Более густой растительный покров снижает эмиссию в зависимости от точности внесения и степени загрязнения травостоя	Неприменимо к использованию при сплошном узкорядном посеве в период роста, но может применяться на розеточной стадии и для пропашных культур	–0,5–1,5
б) Инжекторное внесение жидкого навоза (открытые борозды)	Пастбища	70%	Глубина внесения ≤ 5 см	Неприменимо при уклоне > 15%; на засоренных камнями почвах;	–0,5–1,5
с) Инжекторное внесение жидкого навоза (закрытые борозды)	Пастбища Пахотные земли	80% (мелкие борозды 5–10 см) 90% (глубокое внесение > 15см)	Эффективное закрытие бороздок	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
д) Заделка поверхностно внесенного навоза	Пахотные земли	Немедленная запашка = 90%			–0,5–1,0
		Немедленная заделка в почву без переверота пласта (например, дискованием) = 70%			–0,5–1,0
		Заделка в течение 4 часов = 45–65%	Эффективность зависит от метода внесения и погодных условий в период между внесением и заделкой		–0,5–1,0
Заделка в течение 24 часов = 30%		0–2,0			

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)**</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость по сравнению с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг сохраненного NH₃/год)</i>
е) Активное разбавление жидкого навоза от > 4% сухого вещества до < 2% с использованием систем водного полива	Пахотные земли Пастбища	30%	Сокращение эмиссии пропорционально степени разбавления. Для сокращения эмиссии на 30% необходимо снизить содержание сухого вещества на 50%	Ограничена поливными системами низкого давления (не для крупных систем). Не подходит там, где не требуется полив	-0,5-1,0

* Под жидким навозом понимается текучий навоз, обычно содержащий менее 12% сухого вещества. Материал с более высоким содержанием сухого вещества 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 18 b). Расходы предполагают умеренное или интенсивное использование оборудования. Там, где соответствующее оборудование используется мало, расходы за единицу сохраненного N могут быть более высокими.

** Средние сокращения выбросов, признанные достижимыми в регионе ЕЭК ООН. Широкие диапазоны отражают разницу в методах, обращении, погодных условиях и т.д.

Таблица 15

Методы сокращения выбросов категории 1* при внесении в почву твердого навоза

<i>Меры по сокращению выбросов</i>	<i>Вид землепользования</i>	<i>Сокращение выбросов (%)**</i>	<i>Факторы, влияющие на сокращение выбросов</i>	<i>Применимость по сравнению с базовым методом</i>	<i>Затраты (евро/кг сохраненного NH₃/год)</i>
d) Заделка поверхностно внесенного навоза	Пахотные земли	Немедленная запашка = 90%	Степень заглубления навоза		-0,5-1,0
		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		0-1,5
		Заделка в течение 12 часов = 50%			0,5-2,0
		Заделка в течение 24 часов = 30%			0,5-2,0

* Под твердым навозом понимается нетекучий навоз, обычно содержащий более 12% сухого вещества.

** Сокращения выбросов, признанные достижимыми во всем регионе ЕЭК ООН.

129. Показатель эффективности каждого из методов, указанных в пунктах а)–с), действителен при их применении на почвах, тип и свойства которых обеспечивают их проницаемость для жидкостей и удовлетворительные условия для прохождения техники.

130. В таблицах 14 и 15 также обобщены ограничения, которые должны быть приняты во внимание при рассмотрении вопроса о применимости конкретного метода. Эти ограничивающие факторы включают в себя тип и свойства почвы (глубину почвы, засоренность камнями, влажность, условия для движения техники); топографические особенности (уклон, размер поля, ровность поверхности); тип и состав навоза (жидкий или твердый навоз). Одни методы применимы в более широких масштабах, чем другие. Дополнительные затраты окажутся незначительными, если в любом случае необходимо проводить вспашку или боронование почвы, но для уменьшения эмиссии их необходимо выполнить сразу же после внесения, в связи с чем могут потребоваться дополнительные ресурсы.

131. Методы, указанные в пунктах а)–с), эффективны при условии, что площадь поверхности жидкого навоза, подвергающаяся воздействию преобладающих погодных условий, сокращена как минимум на 75% путем размещения жидкого навоза в линии/полосы, расположенные на расстоянии около 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 до минимума вероятность засорения узких трубок вследствие большой вязкости самого навоза или нахождения 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 либо буксируются трактором, либо являются частью самоходных машин. Другим вариантом является размещение системы внесения непосредственно на задней навеске трактора с подачей жидкого навоза "пуповинным" шлангом из стационарной цистерны или хранилища. Такие "пуповинные" системы позволяют снизить ущерб от уплотнения почвы, вызываемого прохождением по ним тяжелых цистерн с жидким навозом.

132. *Ленточное внесение жидкого навоза на поверхность почвы или выше ее уровня.* Ленточное внесение на поверхность почвы или выше ее уровня может быть выполнено с использованием приспособлений, обычно называемых "гибкими шлангами" (также известных как "буксируемые шланги" или "падающие, свисающие шланги") и распределителей для внесения жидких удобрений – сошников (также известных 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) на выходе каждого сопла для распределения и внесения жидкого навоза "башмака" или "лапы", который или которая скользит (или "плывет") по поверхности почвы с небольшим заглублением или без него. Шланг или сошник предназначен для того, чтобы раздвинуть травостой или любые присутствующие пожнивные остатки и обеспечить попадание жидкого навоза непосредственно на поверхность почвы. Как обычно указывается в источниках (Webb et al. 2010), большая эффективность скользящих "башмаков" объясняется большей узостью полос навоза, его лучшим контактом с почвой и меньшим контактом с живым или мертвым растительным материалом, который лучше раздвигается сошником, чем шлангом, даже если шланг и расположен очень близко к почве. Преимущества сошника перед шлангом наиболее существенны при более высоком растительном покрове благодаря пониженному уровню его загрязнения.

Обе системы подходят для использования во многих условиях выращивания, хотя системы со шлангами имеют меньше ограничений, так как они могут иметь бóльшую ширину, применяться к культурам на корню без их повреждения и приспосабливаться к системам,двигающимся по постоянным колеям. Обе системы позволяют вносить навоз более равномерно и отличаются меньшей восприимчивостью к ветру по сравнению с базовой системой. Они увеличивают промежуток времени, который можно использовать для внесения, и позволяют вносить навоз ближе к краям поля без большого риска загрязнения смежных площадей.

133. **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 подвешены на небольшом расстоянии (< 150 мм) от поверхности почвы, либо тянутся по ее поверхности. Ширина захвата обычно составляет от 6 до 12 метров, хотя на рынке имеются и более крупные агрегаты шириной до 24 метров. Возможная ширина захвата (требующая при транспортировке наличия ручного или механического поворотного привода) намного больше, чем для базовой системы "разбрызгивания с отражателем" (6–9 м), что является очевидным преимуществом метода гибких шлангов. Расстояние между полосами (от центра до центра) обычно составляет 250–300 мм. Метод применим на травах и пахотных культурах и может использоваться с постоянными колеями. Трубки могут забиваться при высоком содержании в жидком навозе сухого вещества (> 7–10%) или крупных твердых включений. Однако засорения труб обычно избегают за счет включения в агрегат системы измельчения и распределения. Эта система улучшает равномерность внесения, что улучшает использование питательных веществ, но оказывает значительное влияние на стоимость и обслуживание системы. Устройство измельчения/распределения часто может быть сконструировано и изготовлено на месте, вследствие чего затраты могут быть весьма низкими.

134. **Прицепной сошник.** Этот метод применим главным образом к пастбищным и пахотным культурам на ранних стадиях роста или к культурам с большим междурядным расстоянием. Рабочая ширина машины обычно ограничена 6–8 м, что, как и в базовой системе, недостаточно для ее практического использования при выращивании смешанных культур, для которых принято использовать систему с постоянными колеями с расстояниями в 12 или 24 м. Метод не рекомендуется при выращивании пахотных культур сплошного сева, на которых действие сошников может приводить к чрезмерному повреждению растений. Листья и стебли трав раздвигаются при протаскивании узкого сошника или лапы по поверхности почвы, а жидкий навоз вносится в узкие полосы на поверхность почвы. Расстояние между полосами обычно составляет от 200 до 300 мм. Оптимальное сокращение выбросов аммиака достигается тогда, когда полосы жидкого навоза частично закрываются растительным покровом. Применимость ограничена при высокой каменистости почвы. Большое количество пожнивных остатков, например на необработанных землях, собирается на сошниках и препятствует их работе.

135. Потенциал сокращения эмиссии NH_3 при использовании машин с сошниками или гибкими шлангами будет выше в случаях, когда жидкий навоз вносится под хорошо развитый растительный покров, а не на открытую почву, так как растительный покров предохраняет навоз от воздействия ветра и затеняет его от солнечного излучения. В целом более значительные сокращения эмиссии аммиака обычно отмечались при использовании прицепного сошника, чем при использовании гибкого шланга, что, вероятнее всего, связано с бóльшим загрязнением растительного покрова при применении некоторых типов гибких

шлангов. Это указывает на необходимость избегать загрязнения растительного покрова жидким навозом при использовании любого из методов, что также положительно скажется на качестве трав.

136. **Инжекция 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 прорезаются вертикальные борозды глубиной до 50 мм, в которые затем вносится жидкий навоз. Расстояние между бороздами обычно находится в пределах от 200 до 400 мм, а рабочая ширина машины, как правило, составляет ≤ 6 м. Для обеспечения эффективного сокращения эмиссии аммиака и повышения доступности азота для растений, а также уменьшения повреждения растений глубина внесения должна составлять около 50 мм, а расстояние между наконечниками сопел машины, используемой для внесения, – ≤ 300 мм. Кроме того, норма внесения должна быть отрегулирована так, чтобы излишки жидкого навоза не вытекали из открытых борозд на поверхность. Метод не применим на сильно каменистых или на очень маломощных и уплотненных 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 борозд. Системы внесения жидкого навоза инжектором предъявляют более высокие требования к мощности трактора, чем системы с оборотом для поверхностного или ленточного внесения.

137. **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. При больших объемах навоза требуется более глубокое внесение, чтобы избежать его просачивания на поверхность. Неглубокое внесение в закрытые борозды позволяет более эффективно сокращать эмиссию NH_3 по сравнению с внесением в открытые борозды. Для получения таких дополнительных преимуществ тип и состояние почвы должны обеспечивать эффективное закрытие борозд. Поэтому этот метод может применяться реже по сравнению с инъекцией в открытые борозды. Некоторые инжекторы для глубокого внесения имеют ряд стоек, оснащенных двусторонними отвалами, или "гусиными лапами", для заглупления в почву и поперечного распределения в ней жидкого навоза 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 эмиссии NH_3 , применимость метода ограничена: его применяют главным образом при предпосевном внесении на пахотных землях и внесении под пропашные культуры с широким интервалом между рядами (например, под кукурузу), при этом механические повреждения могут снизить урожай трав на пастбищах или твердозерновых полевых культур. Другие ограничения включают в себя мощность пахотного слоя, содержание глины и засоренность камнями, уклон, необходимость в тракторах большой мощности и повышенную опасность вымывания, особенно на почвах с закрытой дренажной системой.

138. **Заделка в почву поверхностно внесенного твердого и жидкого навоза.** Заделка в почву поверхностно внесенного твердого и жидкого навоза с помощью запахивания или неглубокой культивации является эффективным средством снижения эмиссии NH_3 . Наибольшая эффективность сокращения достигается при полной заделке навоза в почву (таблица 15). Более высоких показателей сокращения эмиссии по сравнению с другими видами механической обработки для неглубокой культивации позволяет добиваться запахивание. Этот ме-

тод применим только на пахотных землях. Заделка неприменима на многолетних пастбищах, хотя ее можно, наверное, применять при перепрофилировании пастбищ в пахотные земли (например, в севообороте) или при перезалужении пастбищ, хотя потребности в питательных веществах в эти оба периода могут быть низкими. Кроме того, при выращивании пахотных культур с использованием системы минимальной обработки почвы этот метод применим в меньшей мере, чем при выращивании культур с использованием методов более глубокой обработки почвы. Заделка может производиться только до посева культур. Этот метод является основным методом сокращения эмиссии 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 эффективен и при внесении жидкого навоза в том случае, когда инъекция в закрытые борозды невозможна, недоступна или сопряжена с риском вымывания. При культивации также уменьшаются макропоры, которые могут способствовать вымыванию. Успех этого подхода был продемонстрирован во многих исследованиях, в том числе в Российской Федерации (Eskov et al., 2001).

139. Потери аммиака происходят вскоре (в течение нескольких часов и дней) после разбрасывания навоза по поверхности, поэтому немедленная заделка навоза сразу после разбрасывания способствует значительному сокращению эмиссии. При немедленной заделке часто требуется использование второго трактора в агрегате с техникой для заделки навоза, который должен двигаться непосредственно за машиной, вносящей навоз. Там, где такая возможность ограничена из-за недоступности рабочей силы или техники, как, например, в небольших хозяйствах, навоз должен быть заделан в почву в течение четырех часов после разбрасывания, но в этом случае эффективность сокращения выбросов оказывается меньшей (таблица 15). Заделка в течение 24 часов после разбрасывания сокращает эмиссию еще в меньшей степени, но увеличивает агрономическую гибкость, что может иметь особенно важное значение для небольших предприятий. Крайне важно быстро производить заделку навоза в почву при его внесении около полудня при жаркой погоде. Разбрасывание и заделка могут производиться одной и той же машиной. Этот метод позволяет получать хорошие результаты в случае, если на поверхности почвы под открытым небом остается менее 25% навоза.

140. **Разбавление жидкого навоза для использования в системах орошения.** Эмиссия аммиака из разбавленного жидкого навоза с низким содержанием сухого вещества из-за более быстрого проникновения в почву в целом ниже, чем из неразбавленного (например, Stevens and Laughlin, 1998; Misselbrook et al., 2004). По этой причине в воду для полива пастбищ или сельскохозяйственных культур, выращиваемых на пахотных землях, допустимо добавление навоза в количествах, рассчитанных в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур в питательных веществах. Жидкий навоз откачивается из хранилищ, подается в трубопровод с поливной водой и доставляется к разбрызгивателю низкого давления или самоходной поливальной машине (не к крупным системам высокого давления), которая распыляет смесь по земле. Нормы разведения могут достигать до соотношения 50:1 (воды к жидкому навозу). Этот подход включен в методы категории 1, поскольку такого активного разведения навоза как минимум на 50% (1:1 воды к жидкому навозу) для использования в водных системах орошения достаточно для сокращения эмиссии по крайней мере на 30%, когда существует потребность в поливе. Если содержание сухого вещества в жидком навозе составляет 4%, последний следует разводить до ≤ 2 -процентного содержания сухого вещества (см. диаграмму 1). Для отнесения метода к категории 1 должны соблюдаться следующие условия:

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

б) условия подходят для выращивания культур, требующих полива. Разведение жидкого навоза без необходимости полива влечет за собой затраты на перевозку и может усилить вымывание нитратов;

в) количество вносимого жидкого навоза рассчитывается в соответствии с потребностями культур в питательных веществах. Этот метод не должен рассматриваться как легкий способ удаления навоза: необходимо учитывать возможный риск избыточного удобрения и вымывания нитратов или навозных стоков, особенно на полях с уклоном;

г) состояние почвы делает возможным быстрое впитывание разведенного 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 скорость проникновения жидкости в почву, при этом не происходит снижения скорости фильтрации из-за высоких объемов внесения.

141. Помимо специального разведения жидкого навоза в системах полива, полезными для сокращения эмиссии аммиака могут быть и другие методы уменьшения содержания сухого вещества в навозе. К их числу относятся уменьшение содержания сухого вещества путем анаэробного сбраживания и разделения твердой и жидкой фракций. Поскольку такие методы имеют тенденцию к повышению рН фракции с низким содержанием сухого вещества, а также к образованию осадка с более высоким содержанием сухого вещества, они не включены в категорию 1. Однако использование таких методов может быть полезным в составе методов категории 2, по которым должна обеспечиваться проверка сокращения эмиссии.

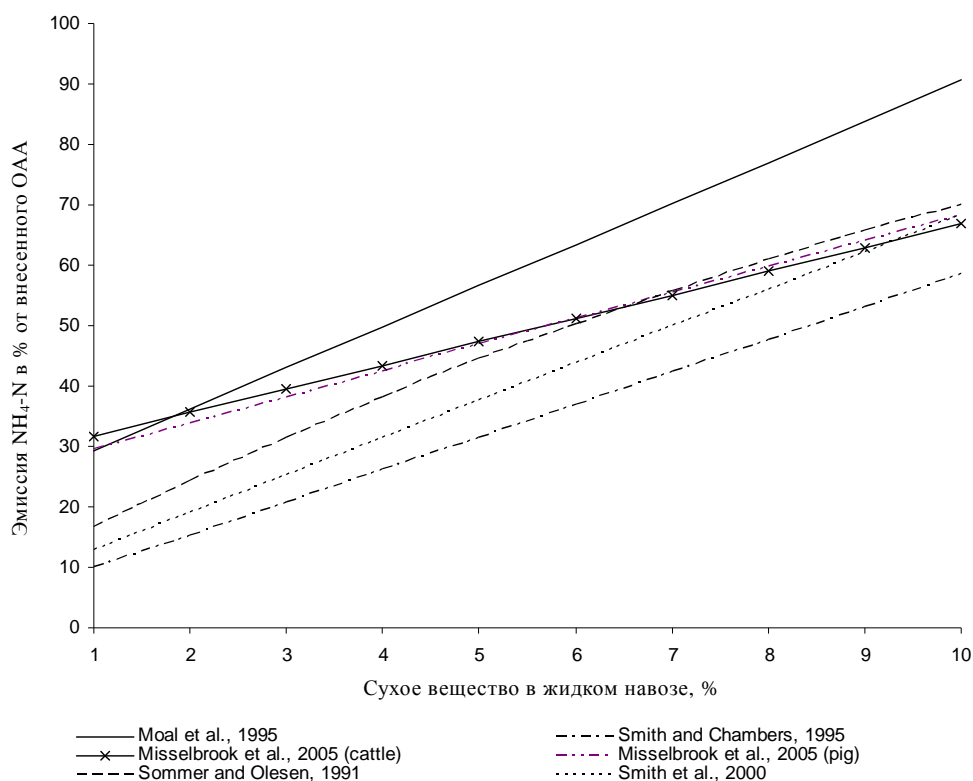


Диаграмма 1

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. Даже при том что эмиссия аммиака все еще существенна при 1-процентном содержании сухого вещества (10%–30% ОАА, потерянного через испарение), 50-процентное сокращение содержания сухого вещества позволяет достичь в среднем примерно 30-процентного сокращения эмиссии аммиака.

142. *Дополнительные выгоды от применения методов сокращения эмиссии NH_3 при внесении в почву жидкого и твердого навоза.* Экспериментальный количественный анализ повышения эффективности использования азота за счет сокращения эмиссии NH_3 не дал однозначных результатов (Webb et al. 2010). Отчасти это можно объяснить трудностями при любых попытках выявить достоверную реакцию растений на незначительное добавление азотных удобрений на фоне относительно высокого уровня минерализации почвенного азота. На практике сокращение эмиссии аммиака обуславливает сокращение нормы внесения дополнительного N. Хотя усвоение аммиачного N растениями будет варьироваться, ОАА, который не улетучивается, может рассматриваться как потенциальный эквивалент химического азотного удобрения. По этой причине величину сокращения потерь аммиака можно рассматривать в качестве замены внесенным химическим удобрениям в пропорции 1:1.

142. Ленточное и инжекторное внесение, как и быстрая заделка твердого навоза, значительно уменьшают неприятный запах, связанный с внесением навоза. Уменьшение неприятного запаха, достигаемое при использовании этих ме-

тодов, создает возможность для внесения навоза на территориях или в такие периоды, которые в ином случае могли бы оказаться недоступными из-за жалоб.

143. Ленточный и инжекторный методы внесения позволяют точнее соблюдать нормы внесения жидкого навоза, чем базовый метод, поскольку жидкий навоз должен быть поровну распределен по трубкам, которые расположены на равном расстоянии друг от друга по всей ширине захвата рабочего органа. Если делать сравнение, то пространственное распределение после внесения разбрасыванием с отражателем (базовая система) нередко варьируется в более широком диапазоне в зависимости от конструкции и состояния блока отражателя. Более того, и ширина разбрасывания при использовании отражателей тоже может быть в большей степени подвержена изменениям (например, под воздействием ветра), что приводит к неполному смыканию соседних щитков отражателей и менее точному внесению вдоль границ поля. Это возможное повышение точности внесения повышает эффективность жидкого навоза как источника питательных веществ. Повышение точности внесения жидкого навоза также снижает риск загрязнения нитратами, фосфором и микробами прилегающих площадей, например близлежащих водных объектов.

144. Возможности применения базового метода (поверхностное разбрасывание) в случае жидкого навоза ограничены риском ухудшения качества урожая или нанесения ущерба в результате его загрязнения жидким навозом. При ленточном и инжекторном внесении снижается степень загрязнения трав, и, соответственно, увеличивается высота растительного покрова, на который можно вносить жидкий навоз без угрозы для качества урожая. Это в первую очередь касается пастбищ, где загрязнение жидким навозом может снизить поедаемость корма или ухудшить качество силоса и способствовать передаче болезнетворных микроорганизмов (например, болезни Джона) между хозяйствами, если навоз или оборудование используется ими совместно. Эти методы также позволяют вносить жидкий навоз под растущие полевые культуры (особенно зерновые), которые вообще считаются неподходящими для внесения жидкого навоза разбрызгиванием. Таким образом, использование низкоэмиссионных методов может способствовать повышению гибкости управления внесением жидкого навоза, позволяя охватывать работой большие площади в те дни, когда погодные условия способствуют пониженному испарению аммиака и оптимальному использованию N жидкого навоза и когда уровень влажности почвы создает возможности для движения техники с минимальным уплотнением почвы.

145. **Потенциальные последствия применения методов сокращения эмиссий с точки зрения затрат.** Рост затрат, связанный с закупкой и обслуживанием новой техники для внесения навоза или привлечением обладающих ею подрядчиков, может оказаться препятствием для применения этих методов. Приемы инжекторного внесения навоза также требуют наличия трактора большей мощности, что дополнительно увеличивает расходы на применение данных систем. Эти дополнительные затраты могут быть частично или полностью компенсированы финансовыми выгодами от повышения урожайности и ее устойчивости, от сокращения потерь азота (уменьшающего потребность в минеральных удобрениях), большей точностью доставки азота к растениям, большей гибкостью агрономической практики и другими сопутствующими выгодами, например уменьшением неприятного запаха и заражения урожая, улучшением внешнего вида культур во время и после внесения навоза (Webb et al. 2010). Общее соотношение затрат и выгод особо зависит от стоимости оборудования и эффективности сокращения эмиссии.

146. *Влияние сокращения потерь аммиака на азотный цикл.* При отсутствии на площадях, на которые был внесен навоз, выращиваемых культур, готовых усвоить легкодоступный N, возрастает опасность потерь N вследствие вымывания или в составе газообразного N₂O. Следовательно, заделка, и особенно инъекторное внесение навоза, влекут за собой риск замены загрязнения воздуха на загрязнение воды, но снижают риск образования поверхностных стоков при последующих дождях. По этой причине при выборе времени внесения жидкого и твердого навоза необходимо сопоставлять потенциальную возможность низкой эмиссии аммиака с возможностью потерь по другим каналам, в то же время учитывая периоды, когда растения нуждаются в азоте. Чтобы избежать общих потерь N, не следует вносить навоз при отсутствии усвоения или очень ограниченном усвоении азота растениями. Снижение эмиссии аммиака вносит важный вклад в общее сокращение потерь азота в сельском хозяйстве и, таким образом, максимизирует 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 связана эмиссия N₂O из почвы, а производство азотных удобрений сопряжено с высокими энергозатратами.

147. Результаты исследований указывают на то, что инъекторное внесение жидкого навоза может либо увеличивать эмиссию N₂O, либо не оказывать на нее никакого влияния. Была высказана мысль, что добавление в жидкий навоз легкоразлагаемого C влечет за собой увеличение эмиссии N₂O в большей степени, чем можно было бы ожидать, из-за дополнительного поступления N в почву в результате сокращения эмиссии NH₃. Такое добавление легкоразлагаемого C в состав жидкого навоза без значительной аэрации почвы может усилить денитрификацию. Существует ряд причин, в силу которых методы внесения, приводящие к сокращению эмиссии NH₃, не всегда приводят к увеличению выбросов N₂O: например, 1) более глубокая инъекция (> 5 см) или заделка вследствие увеличения пути диффузии от места денитрификации до поверхности почвы может привести к увеличению доли денитрифицируемого азота, выделяющегося в виде N₂; 2) последующее состояние влажности и, соответственно, аэрации почвы не способствует увеличению образования N₂O; 3) в почвах, уже хорошо обеспеченных как легкоразлагаемым C, так и минеральным N, любое увеличение эмиссии N₂O может быть слишком мало, чтобы иметь существенный эффект; 4) воздействие погоды в последующий период на влажность почвы и заполненность водой почвенных пор также влияет на последующую эмиссию N₂O. Эти взаимодействия находят отражение в том, что при уменьшении эмиссии NH₃ сокращается и эмиссия N₂O, связанная с выпадением атмосферного азота в полустественных экосистемах, и что за счет нее обеспечивается экономия на вносимых удобрениях, а это приводит к общему сокращению эмиссии N₂O.

148. Заделка стойлового навоза, по-видимому, снижает эмиссию N₂O или не оказывает на нее никакого влияния. В отличие от жидкого навоза, по нему есть данные, согласно которым легкоразлагаемый C теряется вместе со стоками, возникающими во время хранения твердого навоза. Следовательно, C, поступающий в почву при заделке твердого навоза, оказывает меньшее влияние на микробный метаболизм, чем C, поступающий с жидким навозом.

Методы категории 2

149. **Подтверждение эффективности методов категории 2.** Методы категории 2 могут стать полезной частью пакета мер по сокращению эмиссии аммиака, но их воздействие может быть более неопределенным либо достигаемое благодаря их применению сокращение эмиссии с бóльшим трудом поддается обобщению. По этой причине в приложении IX оговаривается, что там, где для достижения определенного сокращения эмиссии используются методы категории 2, Сторонам следует представить подробные материалы, подтверждающие заявленные сокращения эмиссии в результате использования данных методов. Такое же подтверждение должно быть представлено и для методов категории 3 – в случае их использования. Для методов, основанных на а) увеличении степени проникновения навоза в почву и на б) инжекторном внесении жидкого навоза под давлением, в документации должны содержаться описание примененной практики и данные о результатах измерений в полевых или производственных условиях, демонстрирующие и обосновывающие сокращение эмиссии. К подтверждению эффективности систем управления сроками внесения (СУСВ) предъявляются особые требования, указанные ниже.

150. **Увеличение степени инфильтрации в почву.** Если тип и свойства почвы способствуют быстрому проникновению жидкости, эмиссия NH_3 сокращается с уменьшением содержания сухого вещества в жидком навозе. Разведение жидкого навоза водой не только понижает концентрацию аммонийного N, но и увеличивает степень его инфильтрации в почву после поверхностного внесения. Для обеспечения сокращения эмиссии как минимум на 30% неразбавленный жидкий навоз (8–10% сухого вещества) необходимо разбавлять в соотношении не менее 1:1 (одна часть навоза на одну часть воды). Основным недостатком метода состоит в том, что могут потребоваться дополнительные емкости для хранения, а в почву придется вносить больший объем жидкого навоза. В некоторых системах обращения с навозом жидкий навоз может быть уже разведен (например, там, где с навозом смешиваются стоки доильного зала, стоки от мытья полов, ливневые воды и т.д.), в таком случае дальнейшее активное разбавление может дать лишь незначительное преимущество. Использованию этого метода, наверное, препятствуют дополнительные затраты, связанные с емкостями для хранения и особенно с транспортировкой при его внесении в почву. Кроме того, возможны повышение риска загрязнения водоносного слоя из-за дополнительного использования транспорта и непроизводительного расхода воды и увеличение углеродного следа. Российский опыт показывает, что эффективным средством повышения степени инфильтрации до внесения жидкого навоза является предварительная обработка почвы для ее увеличения (например, дискование или щелевание) (Eskov et al., 2001).

151. При внесении в почву разведенного жидкого навоза возможно повышение риска образования поверхностного стока или вымывания, который необходимо предотвращать, обращая внимание на нормы внесения, свойства почвы, уклон и т.д. По этим причинам данный метод относится к категории 2, за исключением активного разбавления жидкого навоза для полива (категория 1).

152. Другим средством снижения содержания сухого вещества в жидком навозе и, следовательно, увеличения степени инфильтрации в почву является удаление части твердых веществ механическим разделением или анаэробной ферментацией. 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 заили-

вания пастбищного травостоя. К недостаткам метода относятся капитальные и эксплуатационные затраты на сепаратор и вспомогательное оборудование, необходимость обращения как с жидкой, так и с твердой фракциями, а также эмиссия из твердых веществ. Информация, служащая для подтверждения эффективности таких систем, должна наглядно свидетельствовать об общем сокращении эмиссии аммиака с учетом эмиссии из фракций как с низким, так и с высоким содержанием сухого вещества.

153. Третий вариант увеличения степени инфильтрации предполагает смыв жидкого навоза водой с травы в почву сразу после внесения. Необходима обильная подача воды, которая является дополнительной операцией, однако результаты, достигнутые в Канаде, показывают, что 6 мм воды при определенных обстоятельствах позволяют сократить потери NH_3 на 50% по сравнению с только поверхностным внесением. В информации, служащей для подтверждения эффективности таких систем, должно содержаться уточнение в отношении временного промежутка между внесением жидкого навоза и водной промывкой травы, количества использованной воды и достигнутого сокращения эмиссии в процентах. При применении воды после внесения навоза может возрасти риск образования поверхностного стока и вымывания, в зависимости от почвенных условий, уклона поверхности и т.д. По этим причинам данный метод отнесен к категории 2, за исключением активного разбавления жидкого навоза для полива (категория 1).

154. **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 участках с уклоном и на каменистых почвах, где нельзя использовать другие типы инжекторов. В ходе полевых испытаний обычно достигалось сокращение эмиссии на 60%, как и при инжекторном внесении в открытые борозды, но необходимо провести дополнительную оценку этого метода.

155. **Системы управления сроками внесения (СУСВ).** Наибольшего уровня эмиссия аммиака достигает в теплую, сухую, ветреную погоду (т.е. при высокой степени эвапотранспирации). Сократить эмиссию можно за счет оптимизации выбора времени внесения, т.е. нужно вносить навоз в прохладную и влажную погоду, в вечернее время, до или во время небольшого дождя и не вносить в теплую погоду, особенно тогда, когда высота солнца и, следовательно, уровень солнечной радиации являются наибольшими (июнь/июль) (Reidy and Menzi 2007). Этот подход является потенциально затратоэффективным, так как при его применении может использоваться оборудование для внесения разбрасыванием. Подход, связанный с использованием систем управления сроками внесения (СУСВ), также мог бы принести дополнительную выгоду, если его применять в сочетании с низкоэмиссионными методами внесения, например с гибкими шлангами. Возможные сокращения эмиссии, достижимые с помощью этих мер, будут меняться в зависимости от региональных и местных почвенно-климатических условий, поэтому набор мер, которые могут использоваться, будет зависеть от конкретных региональных условий.

156. Хотя преимущества использования таких методов управления сроками внесения известны достаточно давно, имеются следующие основные ограничения для их применения:

а) необходимость показать, что данный подход может обеспечить выполнение конкретных целевых показателей сокращения эмиссии аммиака на практике;

b) необходимость четко определить, что имеется в виду под базовыми условиями (чтобы гарантировать правильность отчетности о результатах);

c) необходимость внедрить такую систему управления этим подходом, которая подтверждала бы его эффективность и выполнение; и

d) ограниченная свобода действий при внесении навоза, обусловленная пригодностью почвы для прохождения техники, наличием рабочей силы и оборудования, а также необходимостью учета других нормативных требований.

157. Этот подход можно рассматривать как весьма отличный от технических методов, отнесенных к категории 1, таких как ленточное внесение и заделка навоза, в отношении эффективности которых в таблицах 13 и 14 приводятся соответствующие данные, основанные на средних результатах многих исследований. В случае СУСВ в оценке используются отклики моделей (основанные на многочисленных исследованиях и учитывающие метеорологические условия) на реальную практику выбора сроков внесения.

158. Для того чтобы выгоды практики выбора времени внесения могли быть отнесены к результатам применения мер по сокращению выбросов, необходимо устранить вышеуказанные ограничения. Достигнуть этого можно путем использования системы управления сроками внесения (СУСВ), которая определяется здесь как *поддающаяся проверке управленческая система для дачи указания о внесении и регистрации внесения твердого и жидкого навоза в разные сроки, принятием которой демонстрируется намерение доказать факт достижения количественно определенного сокращения выбросов NH_3 в масштабах хозяйства*. При использовании любой СУСВ необходимо продемонстрировать достижение конкретно определенного целевого показателя сокращения эмиссии аммиака по сравнению с базовой, с тем чтобы ее преимущества рассматривались как часть международных стратегий по ограничению выбросов.

159. Система управления сроками внесения может быть разработана на основе использования нескольких принципов изменения выбросов аммиака, выгоды от которых будут варьироваться в зависимости от местного климата, в силу чего применение СУСВ будет зависеть от региональных условий. В СУСВ могут использоваться следующие принципы:

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

b) *изменение выбросов аммиака в зависимости от времени года*. Эмиссию аммиака можно приблизительно определить для определенного времени года путем обобщения погодных условий в течение конкретных времен года. Например, сезонные изменения обуславливают наибольшую эмиссию аммиака в теплую летнюю погоду и уменьшение эмиссии в прохладную и сырую зимнюю погоду. Целевое сезонное управление внесением твердого и жидкого навоза – при условии учета других ограничений, в частности задачи по согласованию времени внесения навоза с периодом потребности растений и необходимости избегать загрязнения воды, – потенциально создает условия для сокращения общей годовой эмиссии аммиака;

с) *суточные изменения выбросов аммиака.* Эмиссия аммиака имеет тенденцию к снижению в ночное время из-за меньшей скорости ветра, более низкой температуры и более высокой влажности;

д) *влияние на выбросы аммиака продолжительности периода содержания животных в помещении по сравнению с влиянием на них продолжительности выпаса.* Эмиссия аммиака от животных, выпущенных пастись на территорию с достаточной площадью кормления (например, выпас КРС), как правило, происходит в значительно меньших объемах, чем при содержании животных в помещении, поскольку в первом случае не происходит эмиссии аммиака, связанной со стойловым содержанием, хранением навоза и поверхностным внесением жидкого и твердого навоза. Таким образом, продление периода пребывания животных на открытом воздухе (особенно до 24 часов в сутки) – хотя в этом случае следует учитывать такие ограничения, как проблемы качества воды и почвы при выпасе в зимний период, – позволяет сократить эмиссию аммиака. Изменения в определении срока выпаса могут быть учтены в СУСВ, так как они влияют на общее количество требуемого для внесения навоза.

160. *Процедуры подтверждения эффективности СУСВ.* Одной из главных проблем при любой СУСВ является надлежащее подтверждение эффективности подхода, особенно с учетом требования четко доказать факт достижения конкретно определенного уровня сокращения эмиссии. Подход СУСВ считается в масштабах сельскохозяйственного предприятия наиболее подходящим, поскольку он обусловлен результатами применения всего набора приемов выбора сроков проведения операций. Целевое значение сокращения эмиссии должно устанавливаться на год, так как потенциал сокращения эмиссии этим методом характеризуется временной зависимостью.

161. Подтверждение эффективности СУСВ должно включать в себя следующие этапы:

а) *подтверждение эффективности использованного базового инструмента биофизического моделирования.* Должно представляться прозрачное описание использованной числовой модели, подкрепленное соответствующим независимым подтверждением по результатам полевых измерений;

б) *подтверждение эффективности воздействия конкретного способа управления сроками внесения на эмиссию аммиака.* Для каждой используемой СУСВ необходимо продемонстрировать степень достигаемого требуемого целевого сокращения эмиссии по сравнению с базовыми условиями, которого удалось добиться в результате применения системы управления сроками внесения в данном регионе;

с) *подтверждение того, что фактически примененные приемы соответствуют приемам, указанным в отчетах.* Любая СУСВ должна применяться в сочетании с соответствующей системой регистрации для обеспечения того, чтобы зафиксированные в СУСВ приемы управления сроками внесения были применены полностью, а также для подтверждения этого.

162. *Определение базовых условий для СУСВ.* Для большинства наиболее низкоэмиссионных методов внесения навоза в почву процентные показатели сокращения, достигнутые с их применением, могут быть обобщены для обширной климатической области. При использовании же СУСВ, наоборот, необходимо более подробное определение базовых условий. В целом применим тот же базовый метод (произвольное поверхностное внесение жидкого и твердого навоза), но при использовании СУСВ базовый метод должен быть определен в соответствии с существующей практикой также и на уровне сельскохозяйственно-

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

163. Потенциал любой СУСВ в плане сокращения эмиссии должен быть подтвержден для региона, в котором она принята. Обычно при подтверждении эффективности СУСВ должны, как правило, использоваться численные расчетные модели эмиссии аммиака.

164. СУСВ может использоваться в сочетании с другими мерами по сокращению эмиссии аммиака после внесения навоза в почву, например с технологиями внесения жидкого навоза или заделки навоза в почву. Однако дополнительное абсолютное сокращение эмиссии аммиака при помощи СУСВ будет изменяться в зависимости от возможностей сопутствующего метода внесения с точки зрения снижения эмиссии. Чтобы гарантировать достижение цели общего сокращения эмиссии аммиака в масштабах сельскохозяйственного предприятия, необходимо проводить оценку общего вклада как низкоэмиссионных методов внесения, так и СУСВ.

165. В зависимости от типа СУСВ, которую предполагается внедрять, основные дополнительные затраты будут связаны с уменьшением свободы действий в плане выбора сроков внесения навоза и сопутствующими административными расходами, необходимыми для подтверждения эффективности СУСВ. Возможности для экономии расходов можно найти за счет совмещения подходов СУСВ с консультациями по вопросам более эффективного управления запасами N в хозяйстве, в частности через надежную экспертную систему.

166. Следует избегать внесения навоза перед наступлением или при наступлении таких погодных условий, которые повышают риск потери питательных веществ в водные объекты. Кроме того, при разработке СУСВ следует учитывать аспекты безопасности, связанные с работой техники в определенное время, особенно в темное время суток. Условия, способствующие сокращению эмиссии аммиака (например, влажность и отсутствие ветра), могут стать причиной неприятного запаха, поскольку они препятствуют его быстрому рассеиванию.

167. *Подкисленный жидкий навоз.* Равновесие между N аммония и NH_3 в растворах зависит от pH (кислотности). Высокое значение pH способствует потере NH_3 , низкое – удержанию N аммония. Для сокращения эмиссии NH_3 на 50% или более обычно достаточно понизить pH жидкого навоза до устойчивого уровня, не превышающего 6. В настоящее время в Дании с большим успехом применяется метод добавления к жидкому навозу серной кислоты. При добавлении кислот к жидкому навозу необходимо принимать во внимание буферную способность, что обычно требует регулярного контроля за pH и внесения кислотных добавок для возмещения CO_2 , образующегося и выделяющегося во время приготовления подкисленного жидкого навоза. Подкисление желательно выполнять во время хранения жидкого навоза, а также при его внесении с использованием специально сконструированных емкостей. Несмотря на эффективность, метод имеет существенный недостаток: обращение с концентрированными кислотами на сельскохозяйственном предприятии очень опасно.

168. Существуют варианты получения подкисленного жидкого навоза путем добавления органических кислот (например, молочной) или неорганических кислот (например, азотной, серной, фосфорной) или путем изменения состава кормов либо добавления в них (например, бензойной кислоты) (см. раздел "Стратегии кормления животных") или в жидкий навоз (например, молочнокислых бактерий) компонентов, способствующих понижению рН. Недостаток органических кислот заключается в том, что они быстро разлагаются (образуется и выделяется CO_2); кроме того, для достижения желаемого уровня рН 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, что дает более сбалансированные NPK (калий–фосфор–азот) – удобрения, но имеет потенциальный существенный недостаток, выражающийся в том, что нитрификация и денитрификация косвенно влияют на образование N_2O и связанное с этим повышение рН. При использовании азотной кислоты уровень рН должен составлять ~4, чтобы можно было избежать нитрификации и денитрификации, вызывающих потери нитратов и образование недопустимых количеств N_2O . При использовании серной и фосфорной кислоты к жидкому навозу добавляются питательные вещества, что может приводить к избытку в нем серы и фосфора. Кроме того, при добавлении чрезмерного количества кислоты возможно образование сульфида водорода, что может усугубить проблему неприятного запаха и повлиять на безопасность и здоровье человека. В настоящее время подкисление жидкого навоза для сокращения эмиссии аммиака используется в производственном процессе на 125 сельскохозяйственных предприятиях Дании, где уровень рН жидкого навоза снижется с приблизительно 7,5 до 6,5. Этот подход используется как в помещениях для животных (где он дает расчетное 70-процентное сокращение эмиссии), так и при внесении навоза на поля (где он дает 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.

169. *Добавление суперфосфата и фосфогипса.* Как показывает применяемая в Российской Федерации многолетняя практика, эффективным способом достижения существенного сокращения потерь NH_3 при хранении и внесении жидкого навоза и помета является добавление суперфосфата и фосфогипса. Навоз и фосфогипс используются в соотношении 20 к 1 в зависимости от периода хранения, что сокращает эмиссию аммиака на 60%. Присутствие фосфогипса в компостах на базе навоза и помета может наполовину увеличить эффективность их применения, особенно при использовании под крестоцветные культуры (Novikov et al. 1989; Eskov et al., 2001). Основным нормативным фактором, не позволяющим интенсивно использовать компосты с фосфогипсом, является опасное накопление излишков связанного фтора и стронция в почве. В Российской Федерации такая практика связана с сельскохозяйственным использованием промышленных отходов фосфогипса, образующихся при производстве серной кислоты. При планировании управления питательными веществами необходимо учитывать рекомендации, касающиеся потребностей растений в N и P, избегая переизбытка P.

Методы категорий 3

170. *Прочие добавки.* Было продемонстрировано, что эмиссию NH_3 сокращают соли кальция (Ca) и магния (Mg), кислотные соединения (например, FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) и суперфосфат, но (за исключением того, что указано в пункте 169) их необходимо использовать в слишком большом количестве, поэтому они не находят применения на практике. Также использовались такие абсорбирующие материалы, как торф и цеолиты. Кроме того, на рынке существует ряд добавок, которые, однако, как правило не проходили независимых проверок.

VIII. Внесение удобрений

A. Удобрения на основе мочевины

171. Эмиссия аммиака в атмосферу при внесении удобрений зависит от вида удобрения, погоды и свойств почвы. Уровень эмиссии из удобрений на основе мочевины намного выше, чем из удобрений других видов, поскольку быстрый гидролиз мочевины вызывает локальное повышение pH. Быстрый гидролиз часто происходит в почвах с высокой уреазной активностью из-за большого количества пожнивных остатков. Эмиссия из безводного аммиака может оказаться существенной в случае, когда инъекция выполнена неудовлетворительно, а после ее проведения почва не заделана должным образом; успех зависит от выбора подходящей почвы и соответствующей влажности почвы с тем, чтобы были созданы условия для надлежащего закрытия точек инъекции. Эмиссия из сульфата аммония и диаммонийфосфата возрастает после внесения этих видов удобрений на карбонатные почвы (имеющие высокий pH). С учетом этого методы сокращения эмиссии ориентированы прежде всего на внесение удобрений на основе мочевины на почвы всех типов, а сульфата аммония и диаммонийфосфата – на карбонатные почвы. Методы сокращения выбросов основаны либо на замедлении гидролиза мочевины в карбонат аммония, либо на создании условий для быстрого проникновения удобрения в почву (Sommer et al., 2004).

172. За счет использования методов сокращения эмиссии аммиака из удобрений на основе мочевины вносится важный вклад в общее сокращение его эмиссии в сельском хозяйстве. Следует особо отметить, что эмиссия аммиака из удобрений на основе мочевины (обычно от 5% до 40% азота теряется в виде аммиака) намного выше, чем из удобрений на основе нитрата аммония (в виде аммиака обычно теряется от 0,5% до 5%). Несмотря на то, что нитрат аммония является наиболее широко используемой в Европе формой азотных удобрений, сохраняется возможность установления ограничений или запрета на его использование в некоторых странах в будущем по соображениям надежности и/или безопасности. Из соображений безопасности и по причине более высокой стоимости нитрат аммония уже был в значительной степени заменен мочевиными формами по всей Северной Америке. Так как меры по сокращению эмиссии аммиака из удобрений на основе мочевины по-прежнему применяются только к определенным культурам, особенно многолетним, можно ожидать, что такая замена приведет к существенному увеличению эмиссии NH_3 на региональном уровне.

173. При соблюдении агротехнически разумных доз и сроков внесения азотных удобрений меры по снижению эмиссии аммиака в первую очередь положительно скажутся на улучшении потребления азота растениями при минимальном увеличении потерь, происходящих по другим причинам (например, в ре-

зультате вымывания нитратов, денитрификации). Кроме того, при сокращении выбросов аммиака можно также ожидать соответствующего сокращения непрямых потерь азота (например, уменьшения вымывания и денитрификации из лесных почв). С точки зрения всей системы (сельскохозяйственные земли, не-сельскохозяйственные земли и перенос в результате рассеивания в атмосфере) эти меры в целом, как предполагается, не увеличат общего вымывания нитратов или потери закиси азота. Эти меры направлены главным образом на сохранение азота в системе сельскохозяйственного производства и на максимальное увеличение за счет этого продуктивности (см. также раздел "Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла").

174. *Базовый метод.* Базовым методом является поверхностное внесение азотного удобрения разбрасыванием. Эффективность, ограничения и стоимость низкоэмиссионных методов внесения обобщены в таблице 16.

Методы категории 1

175. Методы категории 1 для удобрений на основе мочевины включают в себя применение ингибиторов уреазы, оболочек пролонгированного действия, внутривнепочвенное инжекторное внесение, быструю заделку в почву и полив сразу после внесения. Из перечисленных методов внутривнепочвенное инжекторное внесение, быстрая заделка в почву и полив сразу после внесения также применимы при внесении сульфата аммония (и диаммонийфосфата) на карбонатные почвы.

176. *Ингибиторы уреазы* замедляют превращение мочевины в карбонат аммония путем направленного ингибирования фермента уреазы. Этот "отсроченный"/замедленный гидролиз влечет за собой существенно меньшее увеличение рН почвы вокруг круглых гранул мочевины и, следовательно, значительно более низкую эмиссию аммиака (Chadwick et al., 2005; Watson et al., 1994). Задержка начала гидролиза также увеличивает возможность смыва мочевины в почвенный поглощающий комплекс, способствуя дальнейшему уменьшению потенциала эмиссии аммиака. Европейский союз составил список утвержденных ингибиторов уреазы (ЕС 1107/2008) (http://www.clrtap-tfrn.org/webfm_send/239).

177. Медленно действующим удобрением, которое может снизить эмиссию аммиака, является *гранулированная мочевина с полимерным покрытием* (например, см. Rochette et al., 2009), при этом степень ее снижения зависит от свойств полимерного покрытия и от того, в каких обстоятельствах они применяются при поверхностном внесении удобрения или при использовании в сочетании с инжекторным внесением мочевины.

178. Эффективным методом сокращения выбросов может служить *заделка удобрения в почву* путем прямой инъекции в закрытые бороздки или путем обработки почвы (Sommer et al., 2004). При использовании круглых гранул мочевины сочетание инъекции или заделки с применением медленно растворимых оболочек позволяет вносить удобрения только один раз до формирования растений, исключая необходимость в поверхностном внесении в дальнейшем. На эффективность сокращения эмиссии влияет глубина внутривнепочвенного внесения и структура почвы. Возможно, менее эффективной мерой сокращения эмиссии, чем внутривнепочвенное внесение на такую же глубину, является смешивание удобрения с почвой путем культивации, поскольку часть удобрения при перемешивании оказывается близко к поверхности почвы. Для культур с коротким периодом вегетации запас азота на весь этот период можно обеспечить путем внутривнепочвенного внесения мочевины в ходе посева, сэкономив таким об-

разом время и деньги сельхозпроизводителя. Этот прием получил широкое распространение среди фермеров западной части Канады.

179. Было показано, что сократить эмиссию аммиака на 70% позволяет *полив дозой не менее 5 мм воды* сразу после внесения удобрения (Oenema and Velthof, 1993; Sanz-Cobena, 2010). На влажных почвах вода не должна использоваться сверх полной полевой влагоемкости. Этот метод относят к категории 1 только в тех случаях, когда есть потребность в водном поливе, поскольку в противном случае он может увеличить риск вымывания нитратов.

180. Достаточно простым способом сократить выбросы аммиака с эффективностью около 90% является *замена мочевины на нитрат аммония в составе удобрений*. Возможный отрицательный побочный эффект – потенциальное увеличение эмиссии закиси азота (N_2O), особенно при внесении удобрений на основе нитрата аммония на сырые или влажные почвы. Затраты, связанные с этой мерой, сводятся к ценовой разнице между двумя видами удобрений и стоимостью количества содержащегося в удобрении азота, необходимого для обеспечения оптимального уровня азотного питания растений. Общая стоимость удобрения с нитратом аммония выше, чем удобрений на основе мочевины, – в зависимости от условий рынка (от 10% до 30%). Тем не менее чистые затраты могут оказаться незначительными, и возможно получение чистого выигрыша за счет меньших потерь азота.

181. **Возможные последствия в плане затрат.** Рост расходов при внедрении этих методов будет в какой-то степени компенсироваться (или позволит получить чистую выгоду) за счет экономии на использовании удобрений, необходимых для получения такого же урожая, как и при использовании базового метода, или более высокого урожая при той же норме внесения удобрения.

182. **Влияние на цикл азота.** При соблюдении агротехнически разумных доз, сроков и требований к точности внесения азотных удобрений основным преимуществом от снижения эмиссии аммиака при минимальном возрастании других потерь (например, в результате вымывания нитратов, денитрификации) является улучшение потребления азота растениями. Кроме того, благодаря сокращению выбросов аммиака можно ожидать аналогичного сокращения непрямых потерь азота (например, уменьшения вымывания и денитрификации из лесных почв). С точки зрения всей системы (сельскохозяйственные земли, несельскохозяйственные земли и перенос в результате рассеивания в атмосфере) эти меры в целом, как предполагается, не приведут к увеличению общего вымывания нитратов или потерь закиси азота. Эти меры направлены главным образом на сохранение азота в системе сельскохозяйственного производства и максимальное увеличение за счет этого продуктивности.

Методы категории 2

183. **Применение системы управления сроками внесения (СУСВ).** Речь идет о проверенной системе, предусматривающей использование показателей изменения потенциала эмиссии аммиака с учетом условий окружающей среды с целью применения приемов управления временем внесения для сокращения общих объемов выбросов. Внесение удобрений в более прохладную погоду и перед дождем (хотя и с учетом необходимости избежания сопутствующего риска их смыва в водные объекты) позволяет добиваться более низких уровней эмиссии аммиака. В случае использования этой стратегии необходимо подтверждать правильность базовых условий и достигнутых уровней сокращения эмиссии.

184. *Смешивание мочевины с сульфатом аммония.* Совместное гранулирование мочевины и сульфата аммония позволяет на определенных типах почвы сократить эмиссию аммиака по сравнению с применением только мочевины (Oenema and Velthof, 1993). Для выработки рекомендаций необходимы дальнейшие исследования на большем количестве типов почвы.

Таблица 16

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>Расходы (евро/кг сохраненного NH₃/год)</i>
Поверхностное внесение разбрасыванием	На основе мочевины	Базовый метод			
Ингибиторы уреазы	На основе мочевины	70% для твердой мочевины 40% для жидкой смеси мочевины и нитрата аммония		Везде	-0,5-2,0
Удобрения пролонгированного действия (с полимерным покрытием)	На основе мочевины	около 30%	Тип и цельность полимерного покрытия; метод внесения удобрения (поверхностное или внутрипочвенное)	Везде	-0,5-2,0
Инжекторное внесение в закрытые борозды	На основе мочевины и безводные аммиачные удобрения	80-90%	Глубина заделки; гранулометрический состав почвы; закрытие борозд (закрытие ненадлежащим образом приводит к увеличению эмиссии из-за более высокой концентрации мочевины в борозде, что повышает pH)	Вспашка или минимальная обработка почвы до или во время посева или во время механической прополки сорняков после прорастания	-0,5-1,0
Заделка	Удобрения на основе мочевины	50-80%	Задержка после внесения удобрения; глубина перемешивания; текстура почвы	Обработанная земля до образования травостоя	-0,5-2,0
Полив	Все	40-70%	Выбор времени и объема полива (наиболее эффективен немедленный полив, 10 мм воды); влажность почвы; текстура почвы	В местах, где распространены поливные растения	-0,5-1,0

<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>Расходы (евро/кг сохраненного NH₃/год)</i>
Замена на нитрат аммония	Удобрения на основе мочевины и безводный аммиак	До 90%	В условиях, при которых удобрения на основе мочевины давали бы эмиссию как минимум 40%	Везде, особенно, где возможно только применение поверхностного внесения удобрений и не-возможно применение полива	-0,5–1,0

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

Методы категории 3

185. *Ленточная заделка мочевины.* Этот метод не рекомендуется на почвах с высокой активностью уреазы (например, при наличии пожнивных остатков) и при низкой способности адсорбировать мочевину, так как это может приводить к увеличению эмиссии аммиака по сравнению с базовым методом (например, см. Rochette et al., 2009).

В. Удобрения на основе сульфата, фосфата и нитрата аммония

186. *Базовый метод.* Базовым методом внесения является поверхностное внесение удобрений – сульфата и фосфата аммония.

Методы категории 1

187. Некоторые из описанных выше методов внесения мочевины могут применяться также для сокращения эмиссии аммиака из удобрений на основе сульфата и фосфата аммония. Наибольшие риски связаны с внесением этих удобрений в карбонатные и другие почвы с высоким рН. Методы категории 1 применения удобрений на основе сульфата и фосфата аммония включают в себя заделку, внутрипочвенное внесение, немедленный полив и применение удобрений пролонгированного действия с полимерным покрытием на почвах с высоким рН (по результатам испытаний).

Методы категории 2

188. Эмиссия из не содержащих мочевины удобрений, таких как нитрат аммония и известково-аммиачная селитра, невелика, но она может возникать в результате как прямой эмиссии из удобрений, так и опосредованной эмиссии из растений вследствие применения удобрений. Эмиссии аммиака также способствуют скашивание трав, при этом эмиссия происходит из отрастающего травостоя и ее вызывает активная мобилизация азота в растительном покрове под воздействием скашивания. Внесение удобрений на пастбища в течение первых нескольких дней после скашивания приводит к появлению избытка азота, кото-

рый является причиной увеличения эмиссии вследствие как скашивания, так и внесения удобрений. Задержка с внесением азотных удобрений после покоса дает травам возможность восстановиться и, таким образом, способствует снижению эмиссии аммиака. Анализ результатов моделирования показал, что двухнедельная задержка с внесением азотных удобрений приводит к сокращению общего объема (чистый ежегодный) эмиссии аммиака из скошенного и удобренного пастбища на 15%. Аналогичный результат может быть достигнут и при других вариантах выбора времени внесения удобрений в зависимости от региональных условий. Однако эта практика повышает расходы, связанные с получением урожая зеленой массы. С учетом связи с погодными условиями и необходимости дальнейшей работы для определения оптимальных сроков задержки с внесением азотного удобрения при различных системах управления этот метод классифицируется как метод категории 2. Этот подход может быть включен в систему управления сроками внесения.

IX. Другие меры, относящиеся к сельскохозяйственному азоту

A. Выпас

189. 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 доли времени выпаса в течение года, будет зависеть, в частности, от базового уровня (т.е. от выбросов при безвыгульном содержании животных), продолжительности выпаса животных и количества азотных удобрений на пастбище. Возможность увеличения срока выпаса иногда ограничивается такими факторами, как наличие угодий, тип почвы, топографические особенности, размер и структура хозяйства (расстояния), климатические условия, экономические соображения и т.д. Следует отметить, что продленный выпас животных может привести к увеличению выбросов азота в других формах (например, в виде N_2O , NO_3). Однако с учетом очевидного и легко выражаемого в количественной форме воздействия на выбросы NH_3 этот метод можно отнести к категории 1 (в зависимости от изменения соотношения периодов, когда животные содержатся в помещениях или на пастбище 24 часа в сутки). Оценить эффективность сокращения выбросов можно путем сравнения общего объема эмиссии NH_3 при выпасе и при содержании животных в помещении (см. также пункты 40 и 52).

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

В. Обработка навоза

191. Изучены 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 часто свидетельствуют об увеличении выбросов NH_3 , по этой причине следует рассматривать возможность сочетания систем компостирования навоза с другими методами сокращения выбросов NH_3 из данного источника, такими, например, как устройство покрытий и применение систем очистки воздуха скрубберами;

б) управляемые процессы денитрификации жидкого навоза. Работа экспериментальных установок показывает, что сокращение выбросов NH_3 возможно за счет преобразования аммония в газ N_2 посредством управляемой денитрификации (смена аэробной и анаэробной сред). Для достижения этого требуется специальный реактор. Чтобы определить эффективность и надежность этой системы и ее воздействий на другие выбросы, необходимы дальнейшие исследования;

в) разделение навоза для удаления Р или для создания подстилки. Выбросы при использовании этих систем требуют исследований.

192. Вообще эффективность вариантов с обработкой навоза нужно изучать для конкретных условий страны или сельхозпредприятия. Помимо выбросов NH_3 , следует также оценивать и другие выбросы, потоки питательных веществ и применимость системы в условиях конкретного предприятия. Из-за упомянутых неопределенностей эти меры в целом нужно отнести к категориям 2 или 3. Исключением является использование систем очистки воздуха скрубберами в помещениях для компостирования навоза (категория 1), которые хорошо проверены на практике, но требуют существенных затрат.

С. Несельскохозяйственное использование навоза

193. Если навоз используется за пределами сельскохозяйственного сектора, сельскохозяйственные выбросы могут снизиться. Примеры такого использования, уже нашего широкого распространения в некоторых странах, включают сжигание помета птицы и использование конского навоза и куриного помета при выращивании грибов. Достижимая степень сокращения выбросов зависит от того, насколько быстро навоз удаляется из хозяйства и каким образом он обрабатывается. Общее сокращение выбросов будет достигнуто только в том случае, если использование самого навоза не будет сопровождаться 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. Нужно принимать во внимание и другие экологические аспекты: например, сжигание подстилки из птичников является возобновляемым источником энергии, но при этом не все питательные вещества, содержащиеся в подстилке, будут возвращены в оборот в сельское хозяйство.

Х. Несельскохозяйственные стационарные и мобильные источники

194. Существует много несельскохозяйственных источников NH_3 , в число которых входят механические транспортные средства, удаление отходов, сжигание твердого топлива в жилищном секторе, а также различные отрасли промышленности, среди которых наиболее значительной в Европе с этой точки зрения является отрасль по производству удобрений. Имеется также еще одна небольшая, но в совокупности значимая группа естественных источников, которая включает, к примеру, дыхание человека и выделение им пота, а также эмиссию от диких животных (Sutton et al. 2000). В настоящее время в протоколах ЕЭК ООН для целей отчетности о выбросах не проводится различия между естественными и антропогенными источниками так, как это делается для летучих органических соединений (ЛОС).

195. Общей особенностью многих из этих секторов является то, что раньше выбросы NH_3 в них не учитывались. Это в наибольшей степени относится к транспорту, о чем пойдет речь ниже. Поэтому смысл первой рекомендации по снижению выбросов NH_3 из несельскохозяйственных источников сводится к обеспечению учета NH_3 при оценке показателей той или иной отрасли и других источников. Если выясняется, что имеет место рост объема выбросов NH_3 или что его выбросы могут возрасти в результате внедрения того или иного технического решения, то эксплуатирующим и конструкторским организациям следует рассмотреть возможные пути оптимизации таких систем с целью исключения или минимизации выбросов.

А. Общие методы

196. Для 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 обработку отходящих газов. Как и во всех случаях, рассматриваемых в данном разделе, конкретная эффективность затрат будет меняться в зависимости от размера установки, концентрации NH_3 и других факторов.

197. Для обработки потоков объемом от 50 до 500 т в год подходят *скрубберы на растворе кислоты*, представляющие собой заполненную абсорбентом башню, через которую циркулирует слабокислотный раствор. К препятствиям для применения этой технологии относятся ее ограниченная пригодность для потоков газа больших объемов, потенциально высокая стоимость обработки сточных вод, а также риски для безопасности, связанные с хранением серной кислоты. Известные 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 .

198. В технологиях регенеративного термического окисления для сжигания присутствующего в потоке газа NH_3 применяется дополнительное топливо (обычно природный газ), и расходы в данном случае составляют от 1 900 до 9 100 евро/т NH_3 .

199. Для обработки газовых потоков малых объемов с низкой концентрацией NH_3 подходит метод биофильтрации, который может обеспечить сокращение выбросов на приблизительно 1 т в год. Для малых источников он является са-

мой низкозатратной системой. Как было сообщено, затраты на сокращение выбросов составляют от 1 400 до 4 300 евро/т в зависимости от сектора.

200. Эффективность сокращения выбросов с использованием описанных в этом разделе методов, как правило, составляет около 90%.

В. Методы, подходящие для отдельных секторов

201. В 1990-х годах в результате внедрения на транспортных средствах каталитических систем очистки выхлопных газов значительно возросли *выбросы NH₃ от дорожного транспорта* (согласно оценке, по Соединенному Королевству объем выбросов за указанный период возрос в 14 раз). Проблема решается в основном за счет внедрения улучшенных систем регулирования подачи топлива, перехода от карбюраторной технологии к компьютеризированным системам, которые обеспечивают более строгий контроль пропорций воздуха и топлива. Меры по снижению содержания серы в топливе, некоторые методы ограничения выбросов NO_x от транспортных средств, оснащенных дизельными двигателями, а также использование некоторых альтернативных видов топлива могут спровоцировать рост выбросов. Несмотря на последствия всех этих действий для выбросов NH₃, ни производители транспортных средств, ни регулирующие органы не рассматривают его в качестве приоритетного загрязнителя. Поэтому важно, чтобы в этом и других секторах учитывалось влияние технологических изменений на выбросы NH₃. Такой учет позволит принять меры по предупреждению и сведению к минимуму выбросов на стадии проектирования, когда выявляется возможность возникновения проблем.

202. *Проскок аммиака на стационарных установках каталитического восстановления.* В некоторых секторах наиболее значительный источник эмиссии NH₃ может быть связан с его утечкой из установок по улавливанию NO_x. Существует два метода: улавливание проскоков NH₃, содержащегося в дымовых газах, благодаря которому размер выбросов может быть сокращен примерно с 40 мг/м³ приблизительно на 90%, и повышение эффективности контроля за работой оборудования, предназначенного для борьбы с выбросами NO_x. Возможности сокращения эмиссии NH₃ из этого источника нужно будет тщательно изучить в связи с усилением борьбы с выбросами NO_x за счет более широкого применения НИМ.

203. *В свеклосахарном производстве можно применять неиспарительные системы охлаждения.* Эффективность этих систем в плане сокращения выбросов превышает 95%. Затраты оцениваются в 3 500 евро/т недопущенных выбросов NH₃.

204. *Выбросы в процессе сжигания* в бытовом секторе могут быть сокращены с помощью ряда различных методов: от принятия мер по обеспечению энергоэффективности до использования более качественного топлива и оптимизации котельно-топочного оборудования. Для внедрения некоторых из этих вариантов существуют серьезные препятствия: от технических (например, отсутствие инфраструктуры природного газа) до эстетических (например, людям нравится наблюдать за открытым огнем в дровяных печах).

205. *Герметизация свалок.* Значительные объемы NH₃ могут образовываться при удалении отходов путем складирования или компостирования. Такие методы ограничения выбросов метана на свалках, как укрытие участков захоронения отходов и факельное сжигание или утилизация свалочного газа, являются эффективными также и для ограничения выбросов NH₃.

206. Эффективно используется на ряде централизованных объектов для производства компоста *биофльтрация* (см. выше), которую нередко применяют в первую очередь не для сокращения выбросов NH_3 , а для ограничения распространения неприятного запаха. Более общий метод, применимый для бытового компостирования, а также на более крупных объектах, состоит в осуществлении контроля за отношением углерода к азоту с целью достижения оптимального соотношения 30:1 по весу.

207. *Лошади*. Необходимо провести оценку того, в какой степени учитываются при инвентаризации сельскохозяйственных и несельскохозяйственных выбросов выделения от лошадей. Многие лошади содержатся за пределами хозяйств, и поэтому они могут не учитываться при инвентаризации сельскохозяйственных источников. Наиболее эффективный подход к снижению выбросов из этих источников состоит в надлежащем содержании конюшен при обеспечении достаточного количества соломы для впитывания мочи и ежедневной чистки конюшен. Более сложные методы борьбы с выбросами, такие как применение навозосборников для жидкого навоза, едва ли могут использоваться на небольших конюшнях, но их описание дается в других разделах данного документа.

С. Производство неорганических азотных удобрений, мочевины и аммиака

208. Наиболее крупными промышленными источниками выбросов NH_3 являются заводы по производству смешанных удобрений – фосфата аммония, нитрофосфатов, калийных и комплексных удобрений, а также предприятия по производству азотных удобрений, на которых производятся, в частности, мочевина и NH_3 . Наибольший объем выбросов NH_3 в этом секторе приходится на производство фосфата аммония. По имеющимся данным, содержание аммиака в неочищенных атмосферных выбросах из этого источника составляет от 0,1 до 7,8 кг N/т продукции.

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

210. Помимо использования скрубберов, циклонных уловителей и пылеуловительных камер с тканевыми фильтрами, которые на предприятиях по производству смешанных удобрений 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 мг $\text{NH}_3\text{-N}/\text{м}^3$.

211. При производстве NPK-удобрений по нитрофосфатному способу или способу смешанных кислот на надлежащим образом эксплуатируемой установке размер выбросов составляет 0,3 кг/т и 0,01 кг/т произведенных NPK-

удобрений (в пересчете на N). Однако значения удельных выбросов могут значительно меняться в зависимости от сорта производимого удобрения.

212. В производстве мочевины выбросы аммиака отражаются в отчетности как выбросы, образовавшиеся в ходе рекуперационной абсорбции (0,1–0,5 кг NH₃/т продукции), абсорбции в процессе концентрации (0,1–0,2 кг NH₃/т продукции), на стадии прилирования (0,5–2,2 кг NH₃/т продукции) и в процессе гранулирования (0,2–0,7 кг NH₃/т продукции). Источниками образования карбамидной пыли являются как грануляционные колонны (0,5–2,2 кг NH₃/т продукции), так и грануляторы (0,1–0,5 кг/т продукции в виде карбамидной пыли).

213. На заводах по производству мочевины для ограничения летучих 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 смешанных удобрений, и оно является неотъемлемой составной частью технологического процесса, предназначенной для сохранения продукции. На новых установках по производству мочевины при условии их надлежащей эксплуатации можно как по мочеvine, так и по NH₃ ограничить выбросы дисперсных частиц величиной, меньшей, чем 0,5 кг/т продукции.

Приложение 1

Дополнительная информация

Руководящий документ Гётеборгского протокола о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников:

Управление потоками азота с учетом полного азотного цикла

1. Обычно управление определяется как "последовательный набор действий, направленных на достижение определенных целей". Это определение применяется 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 "снижения выбросов NH_3 ", для того чтобы не допустить "замещения одного вида загрязнения другим".

2. Азот является структурной составляющей всех растительных и животных белков (и энзимов) и участвует в процессах фотосинтеза, эвтрофикации, закисления, а также в различных окислительно-восстановительных процессах. По ходу этих процессов азот изменяет свою форму (соединения), химическую активность и мобильность. Основные мобильные формы – это газообразные формы: молекулярный азот (N_2), аммиак (NH_3), окислы азота (NO и NO_2) и закись азота (N_2O), а также водорастворимые формы: нитрат (NO_3^-), аммоний (NH_4^+) и растворенный органически связанный азот (POA). В органическом веществе азот находится большей частью в форме амидов, связанных 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 связан с углеродным циклом и циклами других питательных веществ. Поэтому управление потоками азота может повлиять на кругооборот углерода, а также на чистый показатель высвобождения углекислого газа (CO_2) в атмосферу и связывание углерода в почве. Как правило, система, допускающая утечку азота, допускает утечку и углерода, и наоборот. Это еще раз указывает на важность рассмотрения практики управления потоками азота с точки зрения всего сельскохозяйственного предприятия.

4. В зависимости от типа сельскохозяйственного предприятия управление потоками азота на уровне хозяйства предусматривает комплексное осуществление ряда действий по управлению им, включая следующие:

- a) внесение удобрений под сельскохозяйственные культуры;
- b) управление выращиванием и уборкой сельскохозяйственных культур и обработкой растительных остатков;

- c) выращивание почвозащитных или покровных культур;
- d) управление лугопастбищным хозяйством;
- e) обработка почвы, осушение и ирригация;
- f) кормление животных;
- g) управление стадом (в том числе с учетом необходимости обеспечения благополучия животных), включая содержание животных в помещениях;
- h) обращение с навозом, включая его хранение и внесение;
- i) меры по снижению выбросов аммиака;
- j) меры по борьбе с вымыванием нитратов и по предотвращению образования стоков;
- k) меры по снижению выбросов закиси азота;
- l) меры по борьбе с денитрификацией.

Для того чтобы добиться высокой продуктивности в растениеводстве и животноводстве с минимальными потерями N и другими нежелательными экологическими последствиями, все мероприятия необходимо рассматривать в комплексе и сбалансировано.

5. Азот жизненно необходим для роста растений. В растениеводстве он часто является наиболее лимитирующим питательным веществом, поэтому, чтобы получить оптимальные урожаи сельскохозяйственных культур, азот должен иметься в достаточном количестве и находиться в почве в усвояемой растениями форме. Основным источником потерь N в окружающую среду, в том числе выбросов аммиака 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), не оказывая влияния на урожай и продуктивность животных. Следует придерживаться руководящих принципов передовой практики управления питательными веществами для конкретных видов объектов, включая:

- a) планирование и документальный учет работы по управлению питательными веществами по всем основным 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 признанных методов:
 - i) минерального N в верхних слоях почвы на стадиях посадки и плодоношения (проверка состояния почвы и растений);
 - ii) минерализации остатков предыдущих культур;
 - iii) чистой минерализации органического вещества почвы, включая последствия внесения навоза за несколько лет и – что касается пастбищ – испражнений животных на выпасе;
 - iv) выпадения химически активного N из атмосферы;
 - v) биологической фиксации N₂ бобовыми культурами;

d) расчет необходимых объемов внесения N с учетом потребности в N соответствующей культуры и поступления N из локальных источников;

e) расчет количества питательных веществ во вносимом навозе, которое будет доступным для усвоения сельскохозяйственными культурами. Нормы внесения навоза будут зависеть от:

i) потребностей сельскохозяйственных культур в азоте, фосфоре и калии;

ii) количества поступающих из почвы азота, фосфора и калия, определяемого на основе результатов проверки состояния почвы;

iii) обеспеченности навозом;

iv) содержания в навозе легкодоступных азота, 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 эмиссии 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, 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 изменены до такой степени, чтобы антагонистический эффект был сведен к минимуму. Таким антагонистическим эффектом может быть, в частности, увеличение эмиссии метана (CH_4) жвачными животными. Аналогичным образом меры по снижению выбросов не должны приводить к увеличению других видов сельскохозяйственного загрязнения (например, потери P, патогены, эрозия почвы) или использования ресурсов (например, топливо), 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 азота можно оценить с точки зрения i) снижения избытка азота и ii) повышения эффективности использования N. Индикаторы эффективности использования азота (ЭИА) дают возможность оценить количество N, который удерживается в сельскохозяйственной культуре или животных продуктах, относительно количества внесенного или поступившего азота. Избыток N является показателем азотной нагрузки хозяйства на окружающую среду на более обширной территории, зависящей также от каналов, через которые происходит потеря избытка N либо в форме улетучивания NH_3 , выщелачивания N и/или нитрификации/денитрификации. Большое влияние как

на эффективность использования N, так и на его избыток оказывает практика управления (Tamminga 1996; Mosier et al., 2004).

8. Показателем эффективности использования N на уровне хозяйства является отношение общего выхода N (через продукты, вывозимые из хозяйства) к общему поступлению N (поступающего в хозяйство, включая биологическую фиксацию N₂) (отношение массы к массе), а показателем избытка (или дефицита) N на этом уровне – разность между общим поступлением N и общим выходом N (масса на единицу площади поверхности).

9. Обычно проводится разграничение 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 через убранную/товарную продукцию и потери из системы отражается и выход N. Поэтому именно бюджеты обеспечивают полную регистрацию и учет всех потоков N.

10. Существуют разнообразные процедуры составления балансов "вход-выход" по азоту, включая процедуры расчета валового баланса по азоту, баланса "на поверхности почвы", баланса "у ворот хозяйства" и баланса хозяйства (например, Watson et al., 1999; Schroder et al., 2003; Oenema et al., 2003; OECD, 2008;). В сущности в валовом балансе N и балансе "на поверхности почвы" регистрируется весь входящий N, поступающий в сельскохозяйственные земли, и весь выход N в составе продукции из культур, убранных с сельскохозяйственных земель. Однако в этих балансах по-разному учитывается N в навозе животных: валовой баланс N включает в себя общее количество экстретированного N в качестве входного параметра, в то время как в балансе "на поверхности почвы" количество экстретированного N корректируется на величину потерь NH₃ из навоза в животноводческих помещениях и системах хранения навоза. 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 N₂. На уровне поля, хозяйства, района и страны могут применяться разные методы, но, чтобы улучшить сопоставимость, важно использовать стандартизированные формы составления балансов и сообщать о применяемой методологии.

11. Наиболее сложный бюджет – азотный бюджет хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации (диаграмма S1). К основным составляющим поступлений относятся минеральные/неорганические удобрения, ввозимый навоз животных, фиксация атмосферного молекулярного азота (N₂) некоторыми (в основном бобовыми) сельхозкультурами, его выпадения из атмосферы, поступления с поливной водой и кормами для животных. Обычно незначительными составляющими поступлений являются поступления с семенами и подстилкой для животных, хотя последние могут быть значительными при некоторых традиционных системах содержания животных. К основным составляющим выхода относятся азот, находящийся в составе растительных и животных продуктов, и азот, 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 (POA). Может также иметь место вымывание нерастворенного органического N.

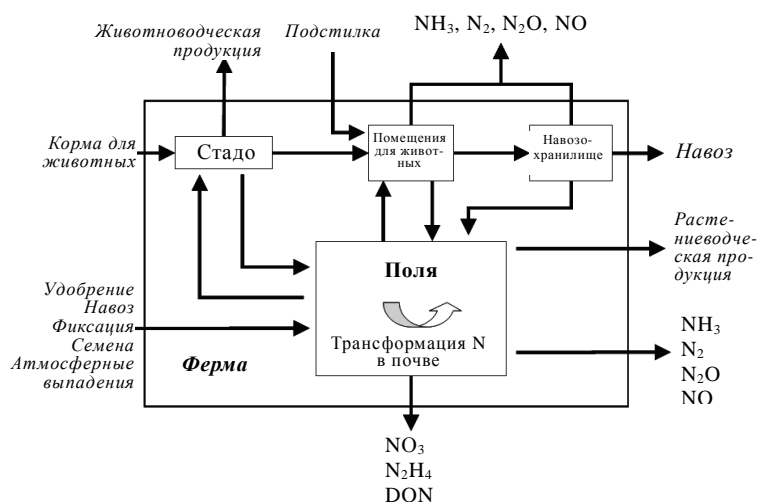


Диаграмма S1
Азотный бюджет хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации (из Jarvis et al., 2011).

12. Соответствующие компоненты азотного баланса хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации показаны на диаграмме S2. Очевидно, что азотный баланс хозяйства гораздо проще азотного бюджета хозяйства, так как в азотный баланс не включены потери N в воздух, грунтовые и поверхностные воды. Азотный баланс специализированного растениеводческого хозяйства или специализированного животноводческого хозяйства гораздо проще, чем баланс "у ворот хозяйства" хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации из-за меньшего количества видов параметров "входа" и "выхода" N.

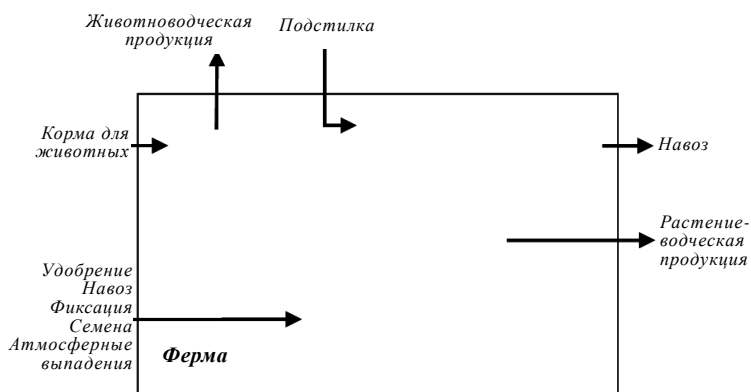


Диаграмма S2
Составляющие азотного баланса хозяйства смешанной растениеводческо-животноводческой специализации

13. На диаграмме S3 представлен азотный баланс сельскохозяйственных угодий. Основными компонентами поступлений N являются минеральные/неорганические удобрения, навоз, фиксация атмосферного азота некоторыми (в основном бобовыми) культурами и его выпадения из атмосферы. Другие поступления N могут включать биологические твердые вещества и такие органические

ские почвоулучшатели, как компост и мульча. Поступления N с семенами и компостом обычно бывают незначительными. Выходящий N содержится в основном в убранной растениеводческой продукции, которая может быть зерном или урожаем растительной массы в целом. Следует обратить внимание, что животные продукты, помимо навоза, в балансе "на поверхности почвы" не отражаются, так как они на поверхность почвы не вносятся.

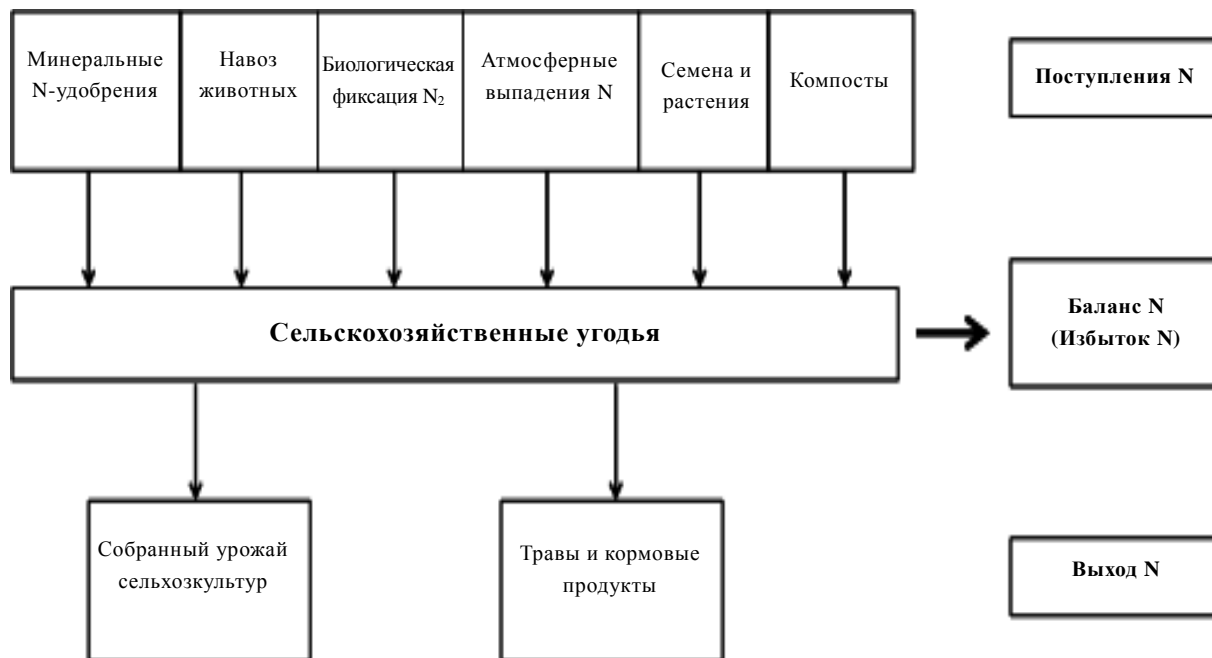


Диаграмма S3
Составляющие азотного баланса "на поверхности почвы"
по сельскохозяйственному угодью (см. OECD, 2008).

14. При использовании балансов N и коэффициентов эффективности использования азота (ЭИА) в качестве показателей на уровне хозяйства необходимо проводить различие между:

- специализированными растениеводческими хозяйствами;
- хозяйствами со смешанной растениеводческо(кормоводческо)-животноводческой специализацией; и
- специализированными животноводческими хозяйствами.

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 подразделять в зависимости от севооборота (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. В этих хозяйствах может также производиться энергия путем ферментации органического углерода. Эти хозяйства можно подразделять в соответствии с категориями животных (например, сви-

нии, птица и крупный рогатый скот). В хозяйствах со смешанными системами выращиваются как сельхозкультуры, так и животные: выращиваемые культуры обычно скармливают животным, а навоз животных вносится на возделываемые поля. Такие хозяйства можно подразделять в соответствии с категориями животных (например, молочный скот, мясной скот, свиньи) и плотностью размещения животных (или самообеспеченностью кормами).

15. Различия в ЭИА (соотношение "вход/выход") и избытке N (вход минус выход) между хозяйствами на практике бывают значительными вследствие различий в системах управления и хозяйствования (особенно в том, что касается видов сельскохозяйственных культур и животных, плотности размещения животных и специализации). Можно привести ориентировочные диапазоны для широкого круга хозяйств разной специализации (см. таблицу S2).

16. 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 азота и удобрений в урожай культур (ЭИА по азоту/удобрением); и
- c) ЭИ по хозяйству в целом.

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

a) ЭИА корм. = $[(N \text{ в молоке, животных и яйцах}) / (N \text{ в кормах} - \text{грубых, сочных и комбикормах})] \times 100\%$;

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 S1 (Powell et al., 2010).

Таблица S1

Ориентировочные значения поступления N и ЭИА для молочных хозяйств (Powell et al., 2010)

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)

<i>Параметры "входа-выхода"</i>	<i>Диапазон значений входа по N</i>	<i>Диапазон значений ЭИА (%)</i>	<i>Источник</i>
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 хозяйству (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)

17. 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 S2

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
(см. текст)

<i>Показатель</i>	<i>Расчет</i>	<i>Пояснения</i>	<i>Характерные уровни</i>
N изб. = сумма всех поступлений N за вычетом N, выходящего за ворота хозяйства, выражается в кг/га/год	$N \text{ изб.} = \Sigma (\text{вход}_N) - \Sigma (\text{выход}_N)$	<p>– 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</p> <p>– N изб. – это показатель общих потерь N в окружающую среду</p> <p>– N нед. [$\Sigma (\text{вход}_N) < \Sigma (\text{выход}_N)$] – это показатель истощения N в почве</p>	<p>Зависит от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных:</p> <p>растениеводство: 0–50 кг/га</p> <p>смешанные хозяйства: 0–200 кг/га</p> <p>животноводство: 0–1 000 кг/га</p>

Показатель	Расчет	Пояснения	Характерные уровни
		– 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	
ЭИА = эффективность использования N, т.е. выход N с полезными продуктами, поделенный на общий вход N	$\text{ЭИА} = \frac{\Sigma (\text{выход}_N)}{\Sigma (\text{вход}_N)}$	– эффективность использования N 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 навоза	зависит от типа специализации хозяйства, сельскохозяйственных культур и животных: растениеводство: 0,6–1,0 смешанное хозяйство: 0,5–0,6 животноводство: 0,2–0,6* животноводство: 0,8–0,95**

* Отсутствует вывоз навоза.

** Безземельные хозяйства; весь навоз вывозится за пределы хозяйства.

18. Для оценки ЭИА по навозу/удобрениям полезно провести различия между различными источниками поступления N. Показателем того, насколько хорошо N из 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 "величина коэффициента N-эквивалентности удобрения". 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 долгосрочность воздействий). Она также зависит от вида сельскохозяйственной культуры и условий окружающей среды (типа почв, температуры, количества атмосферных осадков). Наиболее определяющим фактором для достижения большой величины коэффициента N-эквивалентности удобрений является практика управления, т.е. выбор времени и метода внесения. В таблице 3 представлены диапазоны величин коэффициента N-эквивалентности удобрений для навоза КРС и свиней и помета, полужидкого и жидкого навоза, встречавшиеся в публикациях. 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, вследствие чего в

данном случае между значениями краткосрочных и долгосрочных коэффициентов существенной разницы нет.

Таблица S3

Диапазоны значений краткосрочных и долгосрочных коэффициентов N-эквивалентности удобрений для вносимого навоза и растительных остатков, выраженных в процентах к эталонному удобрению – аммиачной селитре. Навоз вносится общепринятыми низкоэмиссионными методами. Значения краткосрочных коэффициентов N-эквивалентности удобрений находятся в соответствии со значениями коэффициента N-эквивалентности удобрений при их своевременных внесениях в течение года внесения. Долгосрочные коэффициенты N-эквивалентности удобрений учитывают остаточные эффекты и предполагают повторные ежегодные внесения

Источники азота	Значения коэффициентов N-эквивалентности удобрений, %	
	Краткосрочные	Долгосрочные
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

Литература: Berntsen et al., 2007; Bittman et al., 2007; Burton and Turner, 2003; Chadwick et al., 2000; Gutser et al., 2005; Hadas et al., 2002; Hart et al., 1993; Hatch et al., 2004; Janssen, 1984; Jenkinson and Smith, 1988; Kolenbrander and De La Lande Cremer, 1967; Langmeier et al., 2002; MacDonald et al., 1997; Mosier et al., 2004; Nevens and Reheul, 2005; Rufino et al., 2006; Rufino et al., 2007; Schils and Kok, 2003; Schroder et al., 2000; Schroder and Stevens, 2004; Schroder 2005; Schroder et al., 2005; Schroder et al., 2007; Sommerfeldt et al., 1988; Sorensen, 2004; Sorensen and Amato, 2002; Sorensen et al., 2003; Sorensen and Thomsen, 2005; Van der Meer et al., 1987; Velthof et al., 1998.

19. Для баланса по хозяйству в целом избыток N и ЭИА в специализированных растениеводческих хозяйствах рассчитывается следующим образом:

$$N_{\text{избыт.}} = [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфера}} + N_{\text{семена}}] - [N_{\text{урожай}}] \quad [1],$$

$$\text{ЭИА}_{\text{растен.}} = [N_{\text{урожай}}] / [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{навоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфера}} + N_{\text{семена}}] \quad [2],$$

где

$N_{\text{избыт.}}$ = избыток N на уровне хозяйства, кг/га,

$\text{ЭИА}_{\text{раст.}}$ = эффективность использования N на уровне 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,

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

$N_{\text{семена}}$ = 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.

Возможны дополнительные поступления N в хозяйство, например в результате автотрофной фиксации N_2 , а также в составе средств защиты растений, воды для полива, биологических твердых веществ, мульчи. Эти поступления обычно невелики по сравнению с ранее упомянутыми, и их также трудно регулировать. Поэтому эти дополнительные поступления N часто не принимаются во внимание. Однако, когда эти поступления составляют значительный процент от общего поступления ($> 10\%$), их следует включать в расчеты баланса. Это может касаться хозяйств, имеющих органические почвы, где в результате чистой минерализации органически связанного N может в расчете на 1 га высвободиться 20–200 кг N в год в зависимости от трофического состояния торфа и дренажных условий.

20. 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:

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

где

N-ЭУн = коэффициент N-эквивалентности удобрениям для навоза, кг/кг,

N-ЭУк = коэффициент N-эквивалентности удобрениям для компоста, кг/кг.

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

$$N_{\text{избыт.}} = [N_{\text{корм}}] - [N_{\text{животные}} + N_{\text{навоз}}] \quad [3],$$

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

где

$N_{\text{избыт.}}$ = избыток N на уровне хозяйства, кг,

$\text{ЭИА}_{\text{животные}}$ = эффективность использования N на уровне 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 моеющей водой, подстилкой (подстилочный материал) и лекарственными препаратами, но эти поступления обычно невелики (< 5%) по сравнению с ранее упоминавшимися, и их в данном случае можно не учитывать.

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

$$N_{\text{избыт.}} = [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{корм}} + N_{\text{инавоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфера}} + N_{\text{семена}}] - [N_{\text{животные}} + N_{\text{урожай}} + N_{\text{енавоз}}] \quad [5],$$

$$\text{ЭИА}_{\text{смеш.}} = [N_{\text{животные}} + N_{\text{урожай}} + N_{\text{енавоз}}] / [N_{\text{удобрения}} + N_{\text{корм}} + N_{\text{инавоз}} + N_{\text{компост}} + \text{БФА} + N_{\text{атмосфера}} + N_{\text{семена}}] \quad [6],$$

где

$N_{\text{избыт.}}$ = избыток N на уровне 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,

$N_{\text{инавоз}}$ = 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,

$N_{\text{атмосфера}}$ = 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,

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

23. Улучшения в управлении 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 на уровне хозяйства. Чтобы учесть годовые колебания погодных условий и случайные явления, рекомендуется рассчитывать пятилетние средние значения избытка N и ЭИА.

24. Относительную результативность управления потоками азота в хозяйствах можно оценить на основе сравнений с другими хозяйствами, показательными или экспериментальными. Целевые значения избытка N и ЭИА для специализированных растениеводческих хозяйств можно устанавливать исходя из результативности наилучшим образом управляемых на практике растениеводче-

ских (экспериментальных/показательных) хозяйств, принимая во внимание почвенные факторы.

25. Сельскохозяйственные культуры различаются по своей способности усваивать N из почвы вследствие различий в распределении длины корней и продолжительности вегетационного периода. Злаковые растения (зерновые злаки и лугопастбищные культуры) имеют высокую усваивающую способность, листовые овощи (салат-латук, шпинат) – низкую. Ориентировочные целевые значения избытка N и ЭИА следует определять с учетом доли зерновых и лугопастбищных угодий в общей площади хозяйства (например, по пяти классам: < 25%; 25–50, 50–75, 75–90 и > 90%) (таблица S4).

26. В случае специализированных растениеводческих хозяйств, выращивающих зерновые злаки на > 90% площади – если произвести расчеты с использованием членов уравнения [7], относящихся к поступлениям, и приведенных в таблице 3 коэффициентов N-эквивалентности удобрений – количество N в собранном урожае приблизительно равно общим фактическим поступлениям N, а ЭИА_{урожай} может достигать 100%. Однако ЭИА_{урожай} снижается при увеличении поступления N, негативном воздействии вредителей и ограниченном поступлении других питательных веществ, и проблема заключается в том, чтобы найти оптимальный уровень внесения азотных удобрений, при котором урожай, качество урожая и ЭИА будут высокими, а избыток N – низким. При сокращении относительной площади под зерновыми в севообороте целевая ЭИА будет снижаться, а избыток N – увеличиваться, в зависимости, в том числе, от фактического поступления N (таблица S4). Избыток N и ЭИА также зависят от того, что происходит с пожнивными остатками: уборка и удаление пожнивных остатков повышают ЭИА и снижают избыток N, особенно в краткосрочном плане. Однако удаление пожнивных остатков может привести в конечном итоге к сокращению запасов органического вещества и азота в почве. Следует обратить внимание на то, что ЭИА и избыток N связаны обратно пропорционально (таблица S4). Однако дело не всегда обстоит именно так: возможны ситуации, когда повышение ЭИА будет связано с небольшим увеличением избытка N.

Таблица S4

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 (см. текст)

Зерновые культуры, %	Умеренные поступления N			Значительные поступления Ns		
	Избыток N, кг/га/год			Избыток N, кг/га/год		
	ЭИА, %	50 кг/га/год	100 кг/га/год	ЭИА, %	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

27. ЭИА в специализированных животноводческих хозяйствах и хозяйствах со смешанной специализацией частично зависит от "неизбежных" газообразных потерь N из навоза в животноводческих помещениях и на навозохранилищах вследствие улетучивания NH₃ 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 основываться на следующем уравнении:

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

где

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

N_{животные} = количество нетто N в животных, вывезенных из хозяйства (т.е. количество, включающее павших животных, скорректированное на вывезенных животных, кг,

N_{корм} = количество нетто N корма для животных, ввезенного в хозяйство, кг,

N_{эксcretированный} = количество N, экскретированного животными в период содержания в закрытом помещении, кг,

Потери N_{навоз} = неизбежные потери N из навоза в животноводческих помещениях и навозохранилищах вследствие улетучивания NH₃ и в результате процессов нитрификации-денитрификации, кг,

N_{эксcretированный} – потери N_{навоз} = количество N в навозе, вывезенном из хозяйства.

28. Значения потерь N_{навоз} зависят от системы содержания животных, систем обращения с навозом и практики хозяйствования. Для крупного рогатого скота и свиней при круглогодичном содержании в помещениях с системами удаления жидкого навоза с крытыми навозохранилищами потери N_{навоз} будут составлять порядка 5%–20% от количества N в навозе, выделяемом с экскрементами в период их содержания в закрытом помещении, при этом низкоэмиссионная система содержания (и система с привязным содержанием) будет характеризоваться более низкими значениями, а в помещениях с частично щелевыми полами эмиссия будет выше, однако эти потери N навоза будут зависеть также и от климатических условий (Amon et al., 2001; Monteny and Erisman, 1998; Oenema et al., 2008). Если животные находятся в закрытом помещении только в зимнее время, выделения N с экскрементами в этот период будут меньше, а потери N_{навоз} на одно животное будут ниже. Потери N_{навоз} из помещений для животных с твердым навозом обычно бывают выше (20%–40% при круглогодичном содержании) вследствие более значительных потерь из-за нитрификации-денитрификации при хранении навоза.

29. Для птицы потери N_{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 и удержания NH₃ из удаляемого воздуха значения таких потерь бывают более значительными (Groot Koerkamp and Groenestein, 2008).

30. ЭИА в специализированных животноводческих хозяйствах растет с повышением удержания N кормов и снижением "неизбежных газообразных потерь N" (таблица S5; диаграмма S4). Удержание N кормов зависит от вида и продуктивности животных и их кормления. "Неизбежные газообразные потери

N" зависят от системы содержания животных и обращения с навозом, в частности от наличия низкоэмиссионных систем обращения с ним. Таким образом, в специализированных животноводческих хозяйствах ЭИА в очень значительной степени обусловлена газообразными потерями N, включая потери вследствие улетучивания NH₃, и она является комплексным показателем управления потоками N.

Таблица S5

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]).

Предполагается, что все животные продукты, включая навоз, вывозятся из хозяйства

(см. текст)

Удержание N кормов, %	Эффективность использования N, в %				
	"Неизбежные потери N" в % от экскретированного N				
	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

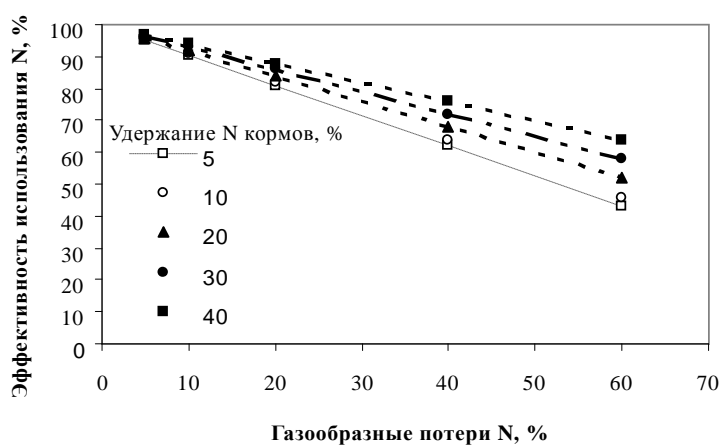


Диаграмма 4

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

(см. текст)

31. Индикаторами, служащими 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 для снижения потерь N в окружающую среду. Однако опыта использования N_{избыт} и ЭИА в качестве конкретных показателей для борьбы с выбросами NH₃ еще нет. В то же время существуют убедительные теоретические, а также эмпирические доказательства того, что повышение ЭИА связано со снижением потерь N на единицу продукции. Аналогичным образом повышение ЭИА в животноводческих хозяйствах и хозяйствах со смешанной специализацией, как правило, ассоциируется со снижением потерь NH₃ на единицу продукции, что видно на примере Дании (Mikkelsen et al., 2010; Nørregaard Hansen et al., 2008; Anonymous, 2008).

32. Опыт Дании и Нидерландов показывает, что большинство фермеров способны легко понять баланс N и показатели ЭИА, а также в состоянии составить балансы N и установить показатели ЭИА на основе записей документального учета и стандартных значений содержания N в различных продуктах. Тем не менее могут быть весьма полезны тренинги и участие сельхозпроизводителей в дискуссионных группах. С другой стороны, балансы N и ЭИА могут составляться бухгалтерами – опять же 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.

33. В общих чертах можно выделить три стратегии/технологии повышения ЭИА и снижения избытка N: i) увеличение выхода N путем повышения урожайности культур и продуктивности животных при сохранении поступлений N на более или менее постоянном уровне, ii) 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 iii) снижение потерь N путем применения азот-сберегающих технологий (низкоэмиссионные методы, покровные культуры, выбор лучших 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 азота и посредством одновременного снижения поступлений N. Наилучшие результаты будут достигнуты, когда сокращение потерь будет обусловлено уменьшением поступлений N, что приведет к сокращению эксплуатационных затрат и увеличению его выхода, необходимого для обеспечения прибыльности. Поэтому подход к снижению избытка N и увеличению ЭИА должен быть адаптирован к конкретным хозяйствам, и единого подхода, который был бы применим к хозяйствам всех специализаций, не существует.

34. Имеется обширный объем доступной информации для повышения ЭИА и снижения избытка N в растениеводстве. Четкие руководящие принципы даны различными учреждениями и компаниями – производителями удобрений. Для обеспечения эффективного и действенного использования минеральных удобрений хорошо понятные и легко доступные руководящие принципы и видеоматериалы разместил на своем вебсайте Международный институт питания растений (МИПР) (<http://www.ipni.net/4r>). Наилучшая практика обращения с удобрениями известна как концепция руководства управлением 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 общественности понять, как правильная практика обращения с удобрениями способствует достижению целей обеспечения устойчивости сельского хозяйства. Если говорить коротко, то концепция руководства управлением питательными веществами "4R" предполагает вовлечение растениеводов и их консультантов в осуществление отбора правильного сочетания источников, норм времени и места внесения на основе практики, одобренной по итогам 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 невозможность предсказания погоды, а к другим факторам относятся вредители растений, бедные почвы и т.д.

35. Повышение ЭИА и снижение избытка N в хозяйствах смешанной специализации требуют осуществления мер и мероприятий, необходимых для их растениеводческих (например, указанная выше в пункте 53 концепция "4R"), и животноводческих подразделений (кормление и содержание животных и уход за ними), а также связанных с хранением навоза и обращением с ним. Меры и мероприятия в их животноводческих подразделениях и меры и мероприятия, связанные с хранением навоза и обращением с ним, более подробно рассматриваются в нижеследующих разделах.

36. Эмпирические сведения об экономических издержках повышения ЭИА и прямых экономических затратах на снижение избытка N немногочисленны. Рассчитать прямые экономические затраты тоже непросто: для этого требуется надлежащие определения для 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 выбором высокопродуктивных сортов культур и пород животных, более точным определением соответствия поступлений N потребностям в нем. Согласно оценкам, эти затраты находятся в диапазоне от -1 до +1 евро на кг сохраненного 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 выше прямых затрат, хотя часть этих затрат будет возмещена за счет более высоких урожаев и повышения качества.

Приложение 2

Дополнительная информация

Руководящий документ Гётеборгского протокола о предотвращении и сокращении выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников:

Стратегии кормления сельскохозяйственных животных

1. Общие соображения

1. Газообразные потери азота в животноводстве происходят по причине его эмиссии из фекалий (кала) и мочи животных. Большое влияние на физиологическое состояние животных, а также на состав кала и мочи и, следовательно, на выбросы аммиака (NH_3) оказывают состав корма животных и практика управления кормлением. В настоящем разделе особое внимание уделяется стратегиям кормления, направленным на сокращение выбросов NH_3 .

2. *Базовый метод.* Стратегии снижения выбросов аммиака, представленные в данном разделе, не определяются и не оцениваются со ссылкой на единообразную "базовую" (т.е. не предусматривающую принятия мер по борьбе с выбросами, или исходную) стратегию кормления, поскольку такие "базовые" стратегии кормления в разных странах ЕЭК ООН различны.

3. При кормлении животные нуждаются в получении энергии, белков, воды, различных питательных веществ, включая микроэлементы и витамины. Ценность корма животных обычно определяется количеством энергии и белка, которое животное может метаболизировать после переваривания корма в желудочно-кишечном тракте. Белковая ценность любого рациона определяется размером доли протеина, который усваивается из желудочно-кишечного тракта. Для свиней и птицы она определяется еще и количеством отдельных усвоенных аминокислот, что позволяет выявить те аминокислоты, которые в наибольшей степени ограничивают отложение белка в животных продуктах.

4. На практике уровни протеина в кормах часто выше, чем действительно требуется. Безопасные границы содержания белка в рационе устанавливаются с учетом 1) субоптимального соотношения аминокислот; 2) вариаций потребностей животных разных генотипов; 3) вариаций потребностей, вызванных принадлежностью к разным половозрастным группам и 4) вариаций 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.

5. 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 азота), 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 .

6. Вследствие различий в кормлении животных состав кала и мочи у молочного скота, свиней на заключительной стадии откорма и молодняка птицы сильно различается. В таблице S6 представлены диапазоны значений, взятые из публикаций (Canh et al., 1998a; 1998b; Bussink and Oenema, 1998; Whitehead, 2000).

Таблица S6
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

7. Поскольку потери NH_3 связаны с содержанием аммония, мочевины и мочевой кислоты в моче и кале, основными вариантами воздействия на потенциал эмиссии NH_3 посредством кормления животных являются следующие варианты (диаграмма S5; и Verstegen, 2007):

- a) снижение содержания аммония, мочевины и мочевой кислоты в моче и кале путем:
 - i) уменьшения потребления сырого протеина;
 - ii) увеличения потребления некрахмальных полисахаридов (что смещает экскрецию азота от мочевины/мочевой кислоты в моче к белку кала);
- b) снижение pH навоза путем:
 - i) снижения pH кала;
 - ii) снижения pH мочи;
- c) снижение активности уреазы и, соответственно, концентрации аммония в навозе.

8. Содержание аммония в навозе (кал + моча), которые образуются в результате гидролиза мочевины и анаэробной ферментации белка в навозе, может быть рассчитано следующим образом (Aarnink et al., 1992):

$$[\text{NH}_4^+] = (dc \cdot P_f - P_r + adc \cdot (1 - dc) \cdot P_f) / (M_m),$$

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.

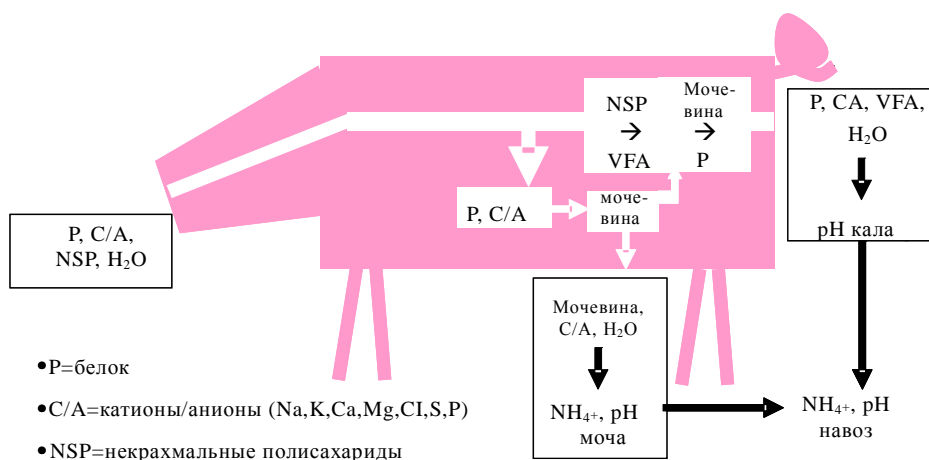


Диаграмма S5

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

9. Значение pH мочи и навоза можно рассчитать путем построения полного катионно-анионного баланса. В этих расчетах необходимо также учитывать концентрацию аммония и углекислой соли.

10. Стратегии кормления животных могут оказывать влияние на pH кала и мочи. Уровень pH кала можно понизить, если усилить сбраживание в толстом кишечнике. Это повышает содержание летучих жирных кислот в кале и обуславливает более низкий уровень pH. Уровень pH мочи можно понизить путем снижения водно-солевого баланса ($Na + K - Cl$) рациона (Patience et al., 1987). Кроме того, pH мочи можно снизить, если добавить в рацион подкисляющие компоненты, например $CaSO_4$, бензоат кальция, бензойную кислоту. Низкий уровень pH выделяемых кала и мочи приводит к низкому уровню pH жидкого/твердого навоза во время хранения, а также после его хранения в течение определенного периода времени. Такое влияние pH 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).

11. В зависимости от ферментативной активности мочевины и мочевая 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 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 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, моче-

вую кислоту и аммоний снижается. В результате эмиссия NH_3 из мочи сокращается (при этом эмиссия NH_3 из кала не возрастает).

12. Ключевыми для подтверждения эффективности конверсии корма в животный продукт являются два показателя. Они определяются ниже.

а) Потребность в сыром протеине (СП, он часто рассчитывается как содержание N, умноженное на 6,25), выраженная в виде доли сухого вещества корма. Этот показатель зависит от вида животных, типа производства, перевариваемости сухого вещества корма и качества (сочетания аминокислот), содержащихся в сыром протеине. 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: чем она выше, тем ниже содержание протеина. Однако с повышением высоты травостоя усвояемость травы может снижаться.

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

13. Производство продукции животноводства (молока, мяса, яиц) невозможно без первоначального удовлетворения 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 сырого протеина и сухого вещества 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, это значение является наибольшим, а у быстро растущих животных, например у бройлеров – наименьшим.

Стратегии кормления для жвачных животных (в частности, молочного и мясного скота)

14. В конечном счете эффективность использования азота (ЭИА) в молочном животноводстве ограничена 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 реальной эффективностью использования азота (ЭИА), достигнутой производителями, и теоретической ЭИА указывает на то, что во многих товарных молочных хозяйствах можно достичь ее значительного повышения (например, Van Vuuren and Meijs, 1987). Несмотря на то, что производители мало что могут сделать для преодоления биологических ограничений использования N, помочь значительно повысить ЭИА, прибыльность хозяйств и 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 et al., 2009)

15. Эффективной стратегией категории 1 по снижению потерь NH_3 является снижение содержания сырого протеина в рационе жвачных животных. В этой связи действуют следующие руководящие принципы (таблица S7):

а) среднее содержание сырого протеина 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 сырого протеина в рационе молочного скота постепенно снижалось со 160 г/кг СВ непосредственно перед отелом и в период ранней лактации до 140 г/кг СВ и менее в период поздней лактации и основной части сухостойного периода;

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

Таблица S7

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
(см. текст)

Категории КРС	СП, г/кг	ЭИА, кг/кг
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

16. Во многих частях мира скотоводство основано на системах с пастбищным или частично пастбищным содержанием животных. В таких системах трава и ее производные с высоким содержанием сырого протеина составляют значительную долю рациона, и ввиду высокого содержания СП в траве с культурных пастбищ достичь целевых значений содержания сырого протеина, указанных в таблице S7, возможно, будет трудно. Содержание СП в свежей траве в период выпаса (2 000–2 500 кг СВ на га) часто находится в диапазоне 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 лишь около 70–80 г/кг. Таким образом, рационы, основанные на травах, часто содержат избыток протеина, и в результате высокая экскреция N сильно зависит от пропорций 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 NH_3 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 до того, как могут произойти значительные выбросы NH_3 , и поэтому общие выбросы NH_3 на одно животное у животных на выпасе меньше, чем у животных при стойловом содержании, когда экскременты собираются, хранятся, а затем вносятся в почву.

17. Снижение эмиссии NH_3 , достигнутое путем увеличения периода выпаса, будет зависеть от базового уровня (эмиссия от животных, содержащихся в помещении), от времени, в течение которого животные находятся на выпасе, и от уровня N в удобрениях, внесенных на пастбище. Возможность увеличения выпаса часто ограничивается типом почв, рельефом местности, размером хозяйства, его структурой (расстояниями), климатическими условиями и т.д. Следует отметить, что выпас животных может вести к увеличению эмиссии N в других формах (например, N_2O , NO_3). Однако с учетом того, что увеличение периода, в течение которого животные находятся на выпасе (целый день), оказывает четкое и ясное в количественном отношении влияние на выбросы NH_3 , его можно рассматривать как стратегию для снижения выбросов категории 1. Реальный потенциал снижения выбросов будет зависеть от базовой ситуации в каждом животноводческом секторе в каждой отдельной стране. Эффект от изменения периода неполного стойлового содержания (например, выпас только в дневное время) является менее определенным, и поэтому соответствующая стратегия относится к категории 2. Переход от полностью стойлового содержания к выпасу в течение части дня с точки зрения снижения выбросов NH_3 менее эффективен, чем переход на круглосуточное содержание животных на выпасе (24 часа), так как здания и хранилища остаются загрязненными и по-прежнему являются источником эмиссии NH_3 . Как предполагается, при управлении выпасом (загонный выпас, ротационный выпас, постоянный выпас) значительного дополнительного влияния на потери NH_3 не оказывается, и поэтому данная стратегия относится к категории 3.

18. Стратегией категории 1 в целом является повышение соотношения энергии и протеина в рационе за счет использования более "старой" травы (с большей высотой травостоя) и/или дополнение травы высококалорийными кормами (например, силосом из кукурузы). Однако для систем производства продукции скотоводства, основанных на пастбищном содержании, осуществимость этих стратегий может быть ограничена, так как старая трава может снижать качество кормления, особенно когда условия для выращивания высококалорийных кормов плохие, и поэтому их приходится покупать. Следовательно, полное использование выращиваемых трав (в условиях ограниченного производства, например 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, которые не имеют возможности выращивать высоко энергетические корма, рассматривается как стратегия категории 2.

19. Рекомендуется использовать современные системы 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., 2011). В молочном животноводстве полезным для достижения лучшего баланса состава 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 поведении корма в кишечном тракте, этот метод классифицируется как стратегия категории 2.

20. Сдвиг экскреции N от мочевины в моче к белку в кале также является эффективной мерой по снижению потерь аммиака. Состав рациона должен быть таким, чтобы в определенной степени стимулировалась ферментация в кишечнике, но при этом не нарушалась ферментация в рубце. Это будет способствовать сдвигу экскреции N с мочи на кал. Стимулировать ферментацию в кишечнике можно путем включения в рацион крахмала или поддающейся ферментации клетчатки, которые устойчивы к воздействию микрофлоры рубца и не сбраживаются 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 в моче к белку в кале, пока являются недостаточными, поэтому данный подход классифицируется как стратегия категории 3.

21. Значения 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 исходной pH, от исходной pH и буферной способности мочи зависит скорость улетучивания NH_3 из мочи сразу же после мочеиспускания. Снижение pH в моче у жвачных животных теоретически возможно. Однако оно зависит от объема мочи, продуктивности жвачных животных и состояния их здоровья, 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 и поэтому не рекомендуется. С учетом возможных побочных эффектов данный метод отнесен к категории 3. Для мониторинга адекватности ферментации в рубце может использоваться консистенция кала.

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

23. Для снижения выбросов NH_3 можно также использовать методы управления стадом. Во-первых, снижения можно достичь путем повышения генетического потенциала коров (больше молока на одну корову). Это приведет к более высокой эффективности использования азота (ЭИА) на уровне стада вследствие более низкой доли энергии, необходимой для поддержания физиологического состояния. При равном среднегодовом 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 аммиака категории 1. Кроме того, эти стратегии могут положительно влиять на благополучие животных, и весьма вероятно, они будут также содействовать снижению выбросов метана (CH_4) в результате кишечной ферментации, особенно если их представлять в виде выбросов на единицу произведенного молока (Tamminga, 1996; Kreab et al., 2001; Powel et al., 2009).

24. Может снизить выбросы NH_3 и улучшить использование N из навоза по сравнению с обычной практикой сбора стойлового навоза и внесения его на поля 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 аммиака и расширяет возможности повторного использования N через сельскохозяйственные культуры. Этот метод можно рассматривать как стратегию категории 2.

25. Снизить экскрецию N мочи у молочного скота, содержащегося в помещениях, можно с помощью различных стратегий 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 рН 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.

Стратегии кормления для свиней

26. 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 самок).

27. Фазовое кормление (различный 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 ЭВМ.

28. Содержание сырого протеина в рационе свиней можно снизить, если оптимизировать поступление аминокислот путем добавления синтетических аминокислот (например, лизина, метионина, треонина и триптофана) или специальных кормовых компонентов, используя наилучшую доступную информацию об "идеальном протеине" в сочетании с информацией о разных добавках к рациону.

29. В зависимости от производственной группы свиней и текущего исходного уровня можно достичь снижения содержания сырого протеина в корме на 2–3% (20–30 г/кг корма). В таблице S8 представлен полученный диапазон содержания сырого протеина в рационе. Значения, приведенные в таблице, являются ориентировочными целевыми уровнями, и, возможно, их необходимо будет адаптировать к местным условиям.

Таблица S8

Ориентировочные целевые уровни содержания сырого протеина в кормах для рационов свиней (приняты на основе документа СДНИМ КПОЗФ-2003)

<i>Категории животных</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание сырого белка, %*</i>
Отъемыш	< 10 кг	19–21
Поросенок	< 25 кг	17–19
Свинья 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

* При правильно сбалансированном и оптимальном поступлении аминокислот.

30. У поросят на доращивании и заключительной стадии откорма на каждые 10 г/кг снижения содержания сырого протеина в рационе можно получить 10-процентное сокращение содержания общего аммонийного азота (ОАА) в свином навозе и 10-процентное сокращение выбросов NH_3 (Canh et al., (1998b)). В настоящее время наиболее распространенное значение содержания сырого протеина в рационе поросят на доращивании и заключительной стадии откорма составляет приблизительно 170 г/кг. Опытным путем было указано, 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 NH_3). На практике экономически достижимым является показатель 140 г протеина на кг рациона (= 30-процентному снижению выбросов NH_3 относительно базового значения при содержании сырого протеина 170 г/кг). Этого можно достичь посредством фазового кормления и добавления большинства лимитирующих аминокислот (Canh et al., 1998b; Dourmad et al., 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 доращивании 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.

31. Может снизить рН экскрементов свиней и, соответственно, выбросы NH_3 добавление специальных компонентов с высоким содержанием некрахмальных полисахаридов (НПС) (например, жома сахарной свеклы, семенных оболочек соевых бобов). Повышение количества 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 далее до 400 г/кг рациона соответственно, выбросы аммиака снижаются приблизительно на 16–25%. Однако такое влияние на выбросы NH_3 зависит в определенной степени также от вида НПС в рационе. Повышение уровня в нем может иметь и негативные последствия. При их высоком уровне усвояемость питательных веществ ухудшается и увеличивается образование отходов, что нежелательно в районах с высо-

кой плотностью поголовья животных. Кроме того, по мере повышения уровня НПС в рационе возрастает концентрация летучих жирных кислот в навозе. Хотя эти кислоты являются не самыми важными компонентами неприятного запаха, их повышенный уровень может усиливать его выделение из навоза. При повышении уровней НПС в рационе может также повыситься образование метана из животных и навоза (Kirchgessner et al., 1991; Jarret et al., 2011). В силу всех перечисленных выше причин увеличение количества 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.

32. Снижает рН мочи и жидкого навоза и выбросы NH_3 из мочи и жидкого навоза замена CaCO_3 в кормах для животных на CaSO_4 , CaCl_2 или бензоат кальция. Замена кальция (6 г/кг) в рационе в виде CaCO_3 бензоатом кальция, снижает рН мочи и жидкого навоза более чем на 2 единицы. В этом случае выбросы NH_3 могут сократиться в размере до 60%. Бензойная кислота в организме свиньи разлагается до гиппуровой кислоты, что понижает рН 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 поросятам на доращивании и заключительном этапе откорма снижает выбросы NH_3 на приблизительно 20% (Aarnink et al., 2008; Güngörenden et al., 2005). Аналогичная замена CaCO_3 на сульфат или хлорид кальция снижает рН жидкого навоза на 1,2 единицы, а выбросы NH_3 – на приблизительно 35% (Sanh et al., 1998a; Mroz et al., 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 на CaSO_4 , CaCl_2 или бензоат кальция относится к методам категории 2 для всех видов свиней.

33. Различные меры, связанные с кормлением, оказывают независимое 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 видов свиней.

Стратегии кормления для птиц

34. Что касается птиц, то потенциал для снижения экскреции N путем принятия мер на уровне кормления в их случае более ограничен, чем в случае свиней, так как достигнутая к настоящему времени средняя эффективность конверсии уже высока и вариабельность в пределах стада птиц больше. В зависимости от вида и текущего исходного уровня обычно можно достичь снижения содержания сырого протеина на 1–2% (10–20 г/кг корма). В таблице S9 представлен полученный диапазон значений содержания сырого протеина 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 Северной Америке проводятся дальнейшие прикладные исследования по вопросам питания, которые, наверное, будут способствовать дальнейшему возможному снижению выбросов аммиака в будущем. Снижение содержания сырого протеина на 1–2% – это мера категории 1 для молодняка и птицы на заключительной стадии откорма.

Таблица S9
**Ориентировочные целевые уровни содержания протеина в кормах
 для птицы**

<i>Категории животных</i>	<i>Фазы</i>	<i>Содержание сырого протеина, %*</i>
Циплята–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

* При правильно сбалансированном и оптимальном поступлении аминокислот.

Резюме и обобщение материала по стратегиям кормления

35. Одним из наиболее затратоэффективных и стратегических способов сокращения выбросов NH_3 является низкопротеиновое кормление животных. На каждый процент (в абсолютном выражении) снижения содержания сырого протеина в кормах животных выбросы NH_3 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 N_2O 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.

36. Метод низкопротеинового кормления животных наиболее применим при стойловом содержании животных и менее применим в системах, основанных на пастбищном содержании животных, так как трава на раннем этапе физиологического развития и пастбища с бобовыми культурами (например, клевером и люцерной) характеризуются относительно высоким содержанием протеина. Однако существуют стратегии снижения содержания протеина в травостое (внесение сбалансированных по азоту удобрений, выпас/скашивание пастбищ на более поздних этапах физиологического развития и т.д.), а также в рационе для систем, основанных на пастбищном содержании животных (дополнительное кормление низкопротеиновыми кормами), но эти стратегии не всегда можно применить в полном объеме.

37. В таблице S10 представлены диапазоны целевых значений содержания сырого протеина для различных категорий животных и для трех "целевых уровней" снижения выбросов NH_3 . "Высокие целевые уровни" соотносятся с самими низкими диапазонами содержания сырого протеина в контексте наилучшей практики управления кормлением и низкопротеинового кормления животных. Эти значения были неоднократно проверены в научных исследованиях и доказали свою состоятельность на практике. Средние и низкие целевые уровни содержания сырого протеина были выведены из высоких целевых показате-

лей путем простого повышения целевого содержания сырого протеина на 1%. Достижимые целевые уровни для животных, содержащихся в помещении, зависят от управленческих навыков сельхозпроизводителя и доступности кормов с низким содержанием протеина, включая синтетические аминокислоты.

38. Высокие целевые значения, представленные в таблице S10, могут быть труднодостижимыми, если качество кормов низкое (высокое содержание волокон и низкая перевариваемость кормов). При таких условиях помочь в повышении перевариваемости могут специальные кормовые добавки. Для правильного функционирования рубца и хорошего состояния здоровья жвачным животным, а также свиньям (особенно свиноматкам) требуется минимальное содержание волокна в кормах.

39. При производстве специальных мясных (и молочных) продуктов рекомендуемое содержание протеина в кормах для конкретной категории животных может слегка превышать верхнее значение, указанное в таблице диапазонов S10.

Таблица S10

Возможные уровни содержания сырого протеина (процент 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 сырого протеина в корме, %		
	Низкий целевой уровень	Средний целевой уровень	Высокий целевой уровень
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
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

<i>Категория животных</i>	<i>Среднее содержание сырого протеина в корме, %</i>		
	<i>Низкий целевой уровень</i>	<i>Средний целевой уровень</i>	<i>Высокий целевой уровень</i>
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

* При правильно сбалансированном и оптимальном поступлении усваиваемых аминокислот.

40. Экономические затраты на стратегии кормления животных, снижающие потенциал эмиссии N_3 из экскрементов животных за счет регулирования содержания сырого протеина, 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 экономические затраты возрастают, когда повышается целевой показатель снижения потенциала эмиссии NH_3 . Растущие предельные затраты частично зависят от затрат на добавляемые синтетические аминокислоты по сравнению с использованием соевых бобов. Экономические затраты зависят от цен этих аминокислот и соевых бобов на мировом рынке, но затраты на добавление аминокислот имеют тенденцию к снижению. Затраты на добавляемые аминокислоты возрастают, когда целевое содержание белка в корме понижается. Это показано ниже на примере кормов для свиней на откорме (из личного разговора с д-ром Андре Арнинком 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.

<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

References

- 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* 31:133-147.
- Aarnink, A.J.A., A.J. Van Den Berg, A. Keen, P. Hoeksma & M.W.A. Verstegen, 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agriculture Engineering Research* 64: 299-310.
- Aarnink, A. J. A., and M. W. A. Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Sciences* 109: 194–203.
- Aarnink, A.J.A., J. Huis in 't Veld, A. Hol, I. Vermeij, 2007. Kempfarm vleesvarkensstal: milieu emissies en investeringskosten. In Dutch with English summary. Wageningen UR, ASG report 67, The Netherlands.
- Aarnink, A. J. A., J. M. G. Hol, and G. M. Nijeboer. 2008. Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% vevovital) in the diet of growing-finishing pigs., *Animal Sciences Group, Divisie Veehouderij, Lelystad*.
- Aarnink A.J.A. & A. Elzing, 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science* 53 (2): 153–169.
- Aarts, H.F.M., B. Habekotté and H. Van Keulen, 2000. Nitrogen management in the “De Marke” dairy farming system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 56 : 231–240.
- Amon, B. Th. Amon, J. Boxberger & Ch. Alt, 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* 60: 103–113.
- Anonymous, 2008. Evaluering af det generelle ammoniakkrav Rapport April 2008, Aarhus University, DK, 115 pp. Atapattu, N. S. B. M., Senaratna, D. and Belpagodagama, U.D. 2008 Comparison of Ammonia Emission Rates from Three Types of Broiler Litters. *Poultry Science* 87:, 2436–2440.
- Aubert, C., Rousset, N., Allain, E., Ponchant, P. 2011, Using a complex of microorganisms to reduce the ammonia emissions from poultry farming. *Journées de la Recherche Avicole, (Actes des 9èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France, 29 et 30 mars 2011, pp. 116–120).*
- Bakker, G. C. M., and M. C. J. Smits. 2002. Dietary factors are additive in reducing in vitro ammonia emission from pig manure. *J. Anim. Sci.* 79 Suppl. 1: Abstract 757.
- Baltussen, W.H.M., R. Hoste, H.B. van der Veen, S. Bokma, P. Bens en H. Zeewuster. 2010. Economic impacts of governmental policy measures for the Pig industry in The Netherlands. LEI Rapport 2010–010; ISBN 978-90-8615-404-3 Den Haag, The Netherlands, 96 pp.
- 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 *J Dairy Sci* 82:1008–1018
- Berntsen, J., B. M. Petersen, P. Sørensen and J. E. Olesen. 2007. Simulating residual effects of animal manures using 15N isotopes. *Plant Soil* 290: 173–187

- Bittman, S., Kowalenko, C.G., Forge, T.A., Hunt, D.E., Bounaix, F., and Patni, N.K. (2007). Agronomic effects of multi-year surface-banding of dairy slurry on grass. *Bioresource Technology*, 98: 3249-3258.
- Bouwman, A.F., Lee, D.S., Asman, W.A.H., Dentener, F.J., Van der Hoek, K.W. and Olivier J.G.J. 1997. A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 561- 587.
- Braam, C.R., Smits, M.C.J., Gunnink, H. and Swierstra D. 1997(a). Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 375–386.
- Braam, C.R., Ketelaars, J. and Smits, M.C.J., 1997(b). Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 49–64.
- BREF, 2003. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). July 2003 <http://eippcb.jrc.es/reference/>.
- Broderick, G.A. 2003. Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 86:1370–1381
- Burton, C. H., and C. Turner. 2003. Manure management—treatment strategies for sustainable agriculture. 2nd ed. Silsoe: Silsoe Research Institute.
- Burton, C.H. 2007. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, *Livest. Sci.* **112**: 208–216.
- Bussink, D.W. and O. Oenema. 1998. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas; a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51:19–33.
- Canh, T. T. et al. 1998a. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilization from slurry. *Livest. Prod. Sci.* 56: 1–13.
- Canh, T. T. et al. 1998b. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181–191.
- Canh, T. T. et al. 1998d. Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science* 67: 583–590.
- Canh, T. T. et al. 1998e. Dietary carbohydrates alter the faecal composition and ph and ammonia emission from slurry of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1887–1895.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, and J. W. Schrama. 1998c. Influence of dietary factors on the ph and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1123–1130.
- Castillo, A.R., E. Kebreab, D.E. Beever, and J. France. 2000. A review of efficiency of nitrogen utilization in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. *J. Anim. & Feed Sci.* 9:1–32.
- Chadwick D., Misselbrook T., Gilhespy S., Williams J., Bhogal A., Sagoo L., Nicholson F., Webb J., Anthony S., Chambers B. (2005) Ammonia emissions from nitrogen fertilizer applications to grassland and tillage land. In: WP1B Ammonia emissions and crop N use efficiency. Report for Defra Project NT2605 (CSA 6579). 71 p.

- Chadwick, D.R., F. John, B.F. Pain, B.J. Chambers, and J. Williams. 2000. Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 134:159–168.
- Chadwick, D.R. 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering, *Atmospheric Environment* 39: 787–799.
- 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*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Dourmad, J. Y., Y. Henry, D. Bourdon, N. Quiniou, and D. Guillou. 1993. Effect of growth potential and dietary protein input on growth performance, carcass characteristics and nitrogen output in growing-finishing pigs. *Proceedings Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, Wageningen 8–11 June, p. 206–211.
- EC, 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]. Also at: http://europa.eu/legislation_summaries/food_safety/animal_welfare/112067_en.htm (retrieved 5 July, 2011).
- Ellen, H.H., J.M.G. Hol, A.I.J. Hoofs, J. Mosquera, A.J.J. Bosma, 2008. Ammonia emission and costs of a chemical air scrubber with bypass ventilation at a pig house. Wageningen UR Animal Sciences Group Rapport 151, 26 pp
- Ellen, H.H. and N.W.M. Ogink, 2009. Emissie-afleiding Kleinvoliere. Wageningen UR Animal Sciences Group Rapport 234, 22 pp
- Eskov, A.I., Novikov, N.M., Lukin, S.M. et al. 2001. *Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniju organicheskikh udobrenij*, Vladimir, 493p. (*Handbook for the production and use of organic fertilizers*) (in Russian).
- Fangueiro, D., J. Coutinho, D. Chadwick, N. Moreira and H. Trindade, 2008a. Effect of cattle slurry separation on greenhouse gas and ammonia emissions during storage, *J. Environ. Qual.* **37** 2322–2331.
- Fangueiro, D., J. Pereira, D. Chadwick, J. Coutinho, N. Moreira and H. Trindade, 2008b. Laboratory assessment of the effect of cattle slurry pre-treatment on organic N degradation after soil application and N₂O and N₂ emissions, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **80**: 107–120.
- FAO, 2009. *The State of Food and Agriculture 2009. Towards a responsible livestock future*, FAO, Rome.
- Galloway, J.N., Aber, J.D, Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., Cosby, B.J., 2003. The Nitrogen Cascade. *BioScience* 53, 341–356.
- Geers, R. and F. Madec (Eds.) 2006. *Livestock production and Society*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 307 pp.
- Gilhespy, S.L., J. Webb, D.R. Chadwick, T.H. Misselbrook, R. Kay, V. Camp, A.L. Retter and A. Bason, 2009. Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions?, *Biosystems Engineering* 102: 180–189.
- Groenestein, C.M. & 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* 65: 269–274.

- Groenestein, C.M., J.M.G. Hol, H.M. Vermeer, L.A. den Hartog & J.H.M. Metz, 2001. Ammonia emission from an individual and two group housing systems for sows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 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. – International Conference in Agricultural Engineering & Industry Exhibition, Crete, Greece, 2008-06-23/ 2008-06-25.*
- 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* 37: 1–6.
- 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, Editors, *Proceedings of the International Conference on Ammonia in Agriculture: Policy, Science, Control and Implementation*, pp. 147–148 Wageningen, The Netherlands.
- Guinand N. 2009. Wet scrubber: one way to reduce ammonia and odours emitted by pig units. 60th EAAP meeting, Barcelona, Spain
- Gutser, R., Th. Ebertseder, A. Weber, M. Schraml, U. Schmidhalter. 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* 168: 439–446.
- Hadas A, Doane TA, Kramer AW, van Kessel C, Horwath WR (2002) Modelling the turnover of ¹⁵N-labelled fertilizer and cover crop in soil and its recovery by maize. *Eur J Soil Sci* 53:541–552.
- Hart, P. B. S.; Powlson, D. S.; Poulton, P. R.; Johnston, A. E.; Jenkinson, D. S. 1993. The availability of the nitrogen in the crop residues of winter wheat to subsequent crops. *Journal of Agricultural Science* 121: 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* 40: 4172–4181.
- Hatch, D.J., Chadwick D.R., Jarvis S.C. and Roker J.A. (eds). 2004. *Controlling nitrogen flows and Losses*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 624 pp.
- Histov, A.N., W. Hazen and J.W. Ellsworth, Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorus and potassium and potential for reducing phosphorus imports on Idaho dairy farms. *J. Dairy Sci.* 89: 3702–3712.
- Huynh, T.T.T., A.J.A. Aarnink, H.A.M. Spoolder, B. Kemp and M.W.A. Verstegen, 2004. Effects of floor cooling during high ambient temperatures on the lying behavior and productivity of growing finishing pigs. *Transactions of the ASAE* 47 (5), 1773–1782.
- IFA, 2007. *Fertilizer Best Management Practices. General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France, 259 pp.
- Janssen B.H. (1984): A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant Soil* 76:297–304.

- Jarret G, Martinez J, Dourmad J-Y, 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*, 5, 622–631.
- Jarvis, S.C. and B.F. Pain (Eds.) 1997. *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. CAB International. Wallingford, UK, 452 pp.
- Jarvis S. , Hutchings N., Brentrup F., Olesen J.E. and van der Hoek K.W. (2011) Nitrogen flows in farming systems across Europe. In: *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives* (Eds: Sutton, M.A., Howard, C., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. and Grizzetti B.) pp 211–228. Cambridge University Press.
- Jenkinson, D.S. and K.A. Smith (Eds.) 1988. *Nitrogen Efficiency in Agricultural Soils*. Elsevier Applied Science. London, UK, 450 pp.
- Kebreab, E., J. France, D.E. Beever, and A.R. Castillo. 2001. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 60, 275–285.
- Kirchgessner, M., M. Kreuzer, D. A. Roth-Maier, F. X. Roth, and H. L. Muller. 1991. Bestimmungsfaktoren der gullecharakteristik beim schwein. Einfluss von futterungsintensitat und den anteil an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren substanzen (bfs) im futter. *Agribiol. Res.* 44 (4), p. 325–344.
- Kolenbrander G.J. and L.C.N. De La Lande Cremer, 1967. *Solid and Liquid Manures. Value and Possibilities* (In Dutch). H. Veenman & Zonen NV, Wageningen, 188 pp.
- Langmeier M, Frossard E, Kreuzer M, Mäder P, Dubois D, Oberson A (2002) Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie* 22:789–800.
- Lenis, N. P., and J. B. Schutte. 1990. Aminozuurvoorziening van biggen en vleesvarkens in relatie tot de stikstofuitscheiding. In: Jongbloed A W; Coppoolse J (Eds.), *Mestproblematiek: aanpak via de voeding van varkens en pluimvee*. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij 4, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.
- MacDonald, A. J., Poulton, P. R., Powlson, D. S., Jenkinson, D. S. 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* 129, 125–154.
- McCrary, D.F., Hobbs, P.J. (2001) Additives to reduce ammonia and odour emissions from livestock wastes: a review. *Journal of Environmental Quality* 30 (2): 345–355.
- Melse, R.W.; N.W.M. Ogink (2005) Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. T. ASAE. Vol 48 No 6 pp 2303–2313. Melse, R.W.; N.W.M. Ogink; B.J.J. Bosma (2008). Multi-pollutant scrubbers for removal of ammonia, odor, and particulate matter from animal house exhaust air. Proceedings of the Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Conference, May 19 – 21, 2008, Des Moines, Iowa (IA), USA.
- Melse, R.W.; P. Hofschreuder; N.W.M. Ogink (2012). Fine dust (PM10) removal by air scrubbers at livestock facilities: results of an extensive farm monitoring program. T. ASABE. Accepted.

- Menzi, H., O. Oenema, C. Burtun, O. Shipin, P. Gerber, T. Robinson, G. Franceshini, 2010. Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In *Livestock in a changing landscape: Drivers, Consequences and Responses*, ed. H. Steinfeld, H. Mooney, F. Schneider and L.E. Neville. Washington, DC: Island Press.
- Mikkelsen, S. A., T. M. Iversen, B. H. Jacobsen, and S.S. Kjaer. 2010. Denmark–EU: the regulation of nutrient losses from intensive livestock operations. In *Livestock in a changing landscape: regional perspectives*, ed. P. Gerber, H. Mooney, J. Dijkman, S. Tarawali, and C. de Haan. Washington, DC: Island Press.
- Misselbrook, T.H., K.A. Smith, D.R. Jackson, and S.L. Gilhespy. 2004. Ammonia emissions from irrigation of dilute pig slurries. *Biosystems Engineering* 89:473–484.
- Misselbrook, T.H., Powell, J.M. 2005. Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. *Journal of Dairy Science* 88, 4304–4312.
- Misselbrook, T. H., Brookman, S. K. E., Smith, K. A., Cumby, T. R., Williams, A. G. and McCrory, D. F. 2005. Crusting of stored dairy slurry to abate ammonia emissions: pilot-scale studies. *Journal of Environmental Quality* 34, 411–419.
- Misselbrook, T. H., Nicholson, F. A. and Chambers, B. J. (2005). Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology* 96, 159–168.
- Misselbrook, T. H., Powell, J. M., Broderick, G. A. and Grabber, J. H. 2005. Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *Journal of Dairy Science* 88, 1765–1777.
- Moal, J.F., J. Martinez, F. Guiziou, and C.M. Coste. 1995. Ammonia volatilization following surface applied pig and cattle slurry in France. *Journal of Agricultural Science* 125:245–252.
- Møller, H.B. J.D. Hansen and C.A.G. Sorensen, 2007. Nutrient recovery by solid–liquid separation and methane productivity of solids, *Trans ASABE* 50: 193–200.
- Monteny, G. J.; Erisman, J. W. "Ammonia Emissions from Dairy Cow Buildings, A Review of Measurement Techniques, Influencing Factors, and Possibilities for Reduction", *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 1998, 46, 225–247.
- Monteny, G.J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Thesis Wageningen University. ISBN 90–5808–348–9, Wageningen, NL, 156 pp.
- Mooney, H., H. Steinfeld, F. Schneider, L. Neville 2009 *Livestock in a Changing Landscape. Drivers, Consequences and Responses* (In press)
- Mosier, A.R., J.K. Syers and J.R. Freney, 2004. *Agriculture and the Nitrogen Cycle. Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. SCOPE 65. Island Press, 296 pp.
- Mroz, Z., A. W. Jongbloed, T. T. Canh, and N. P. Lenis. 1996. Lowering ammonia volatilization from pig excreta by manipulating dietary acid-base difference. *Proceedings of the 8-th Animal Science Congress of AAAP Tokyo*.
- Nevens, F., Reheul, D. 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* 22, 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*, 89: 175–185.

- Nørregaard Hansen, M., S.G. Sommer, N.J. Hutchings and P. Sørensen. 2008. Emission factors for calculation of ammonia volatilization by storage and application of animal manure. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet. DJF HUSDYRBRUG nr. 84 • December 2008, Aarhus, DK, 48 pp.
- Novikov, M.N., Panov, E.P., Rjabkov, V.V., Khokhlov, V.I. 1989. *Pometnie komposty s fosfogipsom. Rekomendzii*, M.: VO "Agropromizdat", 22p (*Treating composts with phosphogypsum*) (in Russian).
- OECD, 2008. Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990, Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Publications, Paris.
- Oenema, O. and S. Pietrzak. 2002. Nutrient management in food production: achieving agronomic and environmental targets. *Ambio* 31: 159:168
- 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* 20: 3–16.
- Oenema, O., A. Bannink, S.G. Sommer, J.W. Van Groenigen, G.L. Velthof, 2008. Gaseous Nitrogen Emissions from Livestock Farming Systems. pp 395–441 In: *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, Second edition, J. L. Hatfield & R. F. Follett (Eds.) Acad. Press, Amsterdam.
- Oenema, O., H.P. Witzke, Z. Klimont, J.P. Lesschen, and G.L. Velthof: Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133: 280–288.
- Oenema, O., Velthof, G.L. (1993) Ammonia volatilization from compound nitrogen-sulfur fertilizers. IN: *Optimization of Plant Nutrition* (Eds. M.A.C. Fragaso and M.L. van Beusichem), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p. 341–349.
- Oenema, J., H. van Keulen, R.M.L. Schils and H.F.M. Aarts. 2011. Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farm in the Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 58: 39–48.
- Ogink, N.W.M.; B.J.J. Bosma (2007). Multi-phase air scrubbers for the combined abatement of ammonia, odor and particulate matter emissions. *International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture*, Broomfield, Colorado, USA. CD-Rom Proceedings of the 16–19 September 2007. ASABE Publication Number 701P0907cd.
- Pain, B. and Menzi H. 2003. Glossary of terms on livestock manure management 2003. RAMIRAN Network, 59 pp.
- Patterson, P.H. and Adrizal. 2005. Management Strategies to Reduce Air Emissions: Emphasis – Dust and Ammonia. *Journal of Applied Poultry Research*, 2005, 14:638–650.
- Patience, J. F., R. E. Austic, and R. D. Boyd. 1987. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *J. Anim. Sci.* 64: 457.
- Paul, J.W., N.E. Dinn, T. Kannangara, and L.J. Fisher. 1998. Protein content in dairy cattle diets affects ammonia losses and fertiliser nitrogen value. *J. Environ. Qual.* 27:528–534.

- Portejoie, S., J.Y. Dourmad, J. Martinez and Y. Lebreton. 2004. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 91, 45–55.
- Powell, J.M., M.A. Wattiaux, G.A. Broderick, V.R. Moreira, and M.D. Casler. 2006. Dairy diet impacts on fecal properties and nitrogen cycling in soils. *Science Society of America Journal* 70:786–794.
- Powell, J.M., Misselbrook, T.H., and Casler, M.D. 2008a. Season and bedding impact ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Environmental Quality* 37:7–15.
- Powell, J.M., Broderick, G.A., and Misselbrook, T.H. 2008b. Seasonal diet impacts on ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Dairy Science* 91:857–869.
- Powell, J.M and G.A. Broderick. 2009. Ammonia emissions from dairy barns: What have we learned? *Cornell Nutrition Conference*, 20–22 October 2009. Syracuse, NY
- Powell, J.M., Rotz, C.A. and Weaver, D.M. Nitrogen use efficiency in dairy production. In: Grignani, C., M Acutis, L. Zavattaro, L. Bechini, C. Bertora, P. Marino Gallina and D. Sacco (Eds.). *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop-Connecting different scales of nitrogen use in agriculture*. June 28–July 1, 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. *Agric., Ecosyst. Environ.* 131:170–177.
- 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* 97:520–531.
- Reis, S. (ed). 2012. *Overview of the economic cost of ammonia abatement techniques in the UNECE region*. Springer Verlag, (in prep.)
- Ritz, C.W., B.W. Mitchell, B.D. Fairchild, M. Czarick and J.W. Worley. 2006. Improving In-House Air Quality in Broiler Production Facilities Using an Electrostatic Space Charge System. *Journal of Applied Poultry Research*, 2006, 15:333–340.
- Rochette P., MacDonald J.D., Angers D.A., Chantigny M.H., Gasser M.O., Bertrand N. (2009) Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality* 38:1383–1390.
- Rotz, C.A. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Anim. Sci.* 2004. 82(E. Suppl.):E119–E137.
- Rotz, C.A., F. Taube, M.P. Russelle, J. Oenema, M.A. Sanderson and M. Wachendorf, 2005. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Sci.* 45: 2139–2159.
- Rotz, C.A., J. Oenema and H. van Keulen, Whole farm management to reduce nitrogen losses from dairy farms: a simulation study. *Appl. Eng. Agric.* 22: 773–784.
- Rufino, M.C., E.C. Rowe, R.J. Delve and K.E. Giller. 2006. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems. *Agric Ecosyst Environ* 116:261–282.
- Rufino, M.C., P. Tittonell, M.T. van Wijk, A. Castellanos-Navarrete, R.J. Delve, N. de Ridder and K.E. Giller. 2007. Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livest Sci* 112: 273–287.

- Sanz-Cobeña, A. (2010) Ammonia emissions from fertiliser application: Quantification techniques and mitigation strategies. PhD Thesis, University Polytechnic Madrid.
- Schils, R.L.M. & I. Kok, 2003. Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 51, 41–65.
- Schlegel, P., S. Durosoy and A.W. Jongbloed (Eds.) Trace Elements in animal production systems. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 347.
- Schröder, J. J., H. F. M. Aarts, H. F. M. ten Berge, H. van Keulen and J. J. Neeteson. 2003. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy* 20: 33–44.
- 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* 299:83–99.
- Schroder J.J. & Stevens R.J. (2004). Optimizing N additions: can we integrate fertilizer and manure use? In: Hatch, D.J., Chadwick D.R., Jarvis S.C. and Roker J.A. (eds) Controlling nitrogen flows and losses, Wageningen Pers, Wageningen, 586–593.
- Schröder J.J., A.G. Jansen, G.J. Hilhorst. 2005. Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use and Management* 21:196 – 204.
- Schroder J.J., Neeteson J.J., Oenema O. & Struik P.C. (2000). Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? *Field Crops Research* 62, 151–164.
- Schroder, J.J. (2005). Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology* 92: 253–261.
- Seré, C. and H. Steinfeld, 1996. World Livestock Production Systems. Current Status, Issues and Trends. FAO ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH PAPER NO. 127, FAO, Rome, 58 pp.
- Smil, V. 2002. Eating meat: Evolution, patterns, and consequences. *Population and Development Review* 28: 599–639.
- Smil, V., 2001. *Enriching the Earth*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 338 pp.
- Smith, K.A., and B.J. Chambers. 1995. Muck: from waste to resource. Utilisation: the impacts and implications. *The Agricultural Engineer* 50:33–38.
- Smith, K.A., D.R. Jackson, T.H. Misselbrook, B.F. Pain, and R.A. Johnson. 2000. Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77:277–287.
- Smith, K., Cumby, T. Lapworth J. Misselbrook T.H. and Williams A. 2007. Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms. *Biosystems Engineering* 97, 464–471.
- Smits, M.C.J., 1998. Grooving a solid V-shaped floor; some observations on walking behaviour and ammonia emission, in Dutch.. IMAG Report P 98–60. IMAG-DLO, Wageningen, the Netherlands.
- Søgaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, H.J.F. M., D.W. Bussink, and F. Nicholson. 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry – the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36:3309–3319.

- 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* 20:679–683.
- Sommer, S.G., S. Genermont, P. Cellier, N.J. Hutchings, J.E. Olesen, and T. Morvan. 2003. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy* 19:465–486.
- Sommer S.G., Schjoerring J.K., Denmead O.T. (2004) Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy* 82:557–622.
- Sommer S.G., Oenema O., Chadwick D., Misselbrook, Harrison R., Hutchings N.J., Menzi H., Monteny G.-J., Ni, J.-Q. and Webb J., 2006. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Agronomy Journal* 89: 264–335.
- Sommerfeldt, T. G., Chang, C., Entz, T. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Science Society of America Journal* 52, 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* 267, 285–296.
- Sørensen, P., Amato, M. 2002. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy* 16, 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 Sci. Soc. Am. J.* 69:1644–1651.
- Sørensen, P., Weisbjerg, M.R., Lund, P. 2003. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge* 141, 79–91.
- Spoelstra, S. F. 1979. Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. *Neth. J. Agric. Sci.* 27: 60–66.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel V., Roslaes, M., De Haan, C., 2006. *Livestock's long Shadow. Environmental Issues and Options.* FAO report, Rome, Italy, 390 pp.
- Steinfeld, H., H. Mooney, F. Schneider and L.E. Neville (Eds.), 2010. In *Livestock in a changing landscape: Drivers, Consequences and Responses.* Washington, DC: Island Press. 396 pp.
- Stevens, R.J. and Laughlin, R.J., 1997. The impact of cattle slurries and their management on ammonia and nitrous oxide emissions from grassland. In: Jarvis, S.C. and Pain, B.F., Editors, 1997. *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*, CAB International, Wallingford UK, pp. 233–256.
- Sutton, M.A., Dragosits, U., Tang, Y.S. and Fowler, D. (2000) Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. *Atmos. Environ.* 34 (6), 855–869.
- Sutton, M.A., Howard, C., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. and Grizzetti B. (2011) *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives* (Eds.) Cambridge University Press. 612 pp.
- Svenson, C. 2003. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science* 84 (2003) 125–133.

- Swierstra, D., C.R. Braam, & M.C.J. Smits, 2001. Grooved floor systems for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture* 17 (1): 85–90
- Tamminga, S., 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3112–3124.
- Van Duinkerken, G. M.C. Blok, A. Bannink, J.W. Cone, J. Dijkstra, A.M. van Vuuren and S. Tamminga. 2011. Update of the Dutch protein evaluation systems for ruminants: the DVE/OEB₂₀₁₀ system. *Journal of Agricultural Science*, 149: 351–367.
- Van Duinkerken, M.C. J. Smits, G. Andre, L.B.J. Sebek and J. Dijkstra, 2011b. Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science*, 94: 321–335.
- Van der Meer H.G., R.J. Unwin, T.A. van Dijk and G.C. Ennik (Eds.) 1987 *Animal Manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or Waste?* Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands. 388 pp.
- Van Vuuren, A.M., C.J. Van der Koelen, H. Valk and H. de Visser, 1993. Effect of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 76, 2982–2993.
- 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. Pages 17–25 in *Animal Manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or Waste?* Van der Meer H.G., R.J. Unwin, T.A. van Dijk and G.C. Ennik (Eds.) Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Velthof, G.L., M.L. van Beusichem, W.M.F. Raijmakers and B.H. Janssen, 1998. Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and Soil* 200: 215–226.
- Watson C.J., Miller H., Poland P., Kilpatrick D.J., Allen M.D.B., Garrett M.K., Christianson C.B. (1994) Soil properties and the ability of the urease inhibitor to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biology & Biochemistry* 26:1165–1171.
- Watson CA & Atkinson D 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* 53, 259–267.
- Webb, J., Pain, B., Bittman, S., and Morgan, J. 2010. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response-A review, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137: 39–46. doi:10.1016/j.agee.2010.01.001.
- Webb, J., S. Anthony and S. Yamulki, 2006. Optimising incorporation to reduce ammonia emissions from litter-based manures: the MAVIS Model, *Trans. Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 49 : 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. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70 : 67–76.
- Webb, J., H. Menzi, B.F. Pain, T.H. Misselbrook, U. Dämmgen, H. Hendriks and H. Döhler, 2005. Managing ammonia emissions from livestock production in Europe, *Environ. Pollut.* 135: 399–406.

Webb, J. and T.H. Misselbrook, 2004. A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production, *Atmos. Environ.* 38: 2163–2176.

Webb, J. S. G. Anthony, L. Brown, H. Lyons-Visser, C. Ross, B. Cottrill, P. Johnson and D. Scholefield, 2005. 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 & Environment* 105, 307–321

Webb, M. Ryan, S.G. Anthony, A. Brewer, J. Laws, F.A. Aller and T.H. Misselbrook, 2006. Identifying the most cost-effective means of reducing ammonia emissions from UK agriculture using the NARSES model, *Atmos. Environ.* 40: 7222–7233.

Whitehead, D.C. 2000. *Nutrient Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships*. CABI Publ., Wallingford, UK.

Ye, Z. Y., G. Q. Zhang, B. M. Li, J. S. Strøm, G. H. Tong, and P. J. Dahl. 2008a. Influence of airflow and liquid properties on the mass transfer coefficient of ammonia in aqueous solutions. *Biosystems Eng.* 100: 422–434.

Ye, Z. Y., G. Q. Zhang, B. M. Li, J. S. Strøm, and P. J. Dahl. 2008b. Ammonia emissions affected by airflow in a model pig house: effects of ventilation rate, floor slat opening and head space I a manure storage pit. *Transactions of the ASABE* 51: 2113–2122.

Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, M. C. M. de Jong, N. W. M. Ogink, P. W. G. Groot Koerkamp, 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 54: 285–293.
