



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 4 (58). Декабрь, 2025

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапирос
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сонина

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

УДК 579.64:676.034.81

СТРАТЕГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАССЕИВАНИЯ ЗАПАХА ОТ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (ОБЗОР)

СЫРЧИНА

Надежда Викторовна

кандидат химических наук, ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, г. Киров, ул. Московская, 36, pvms1956@mail.ru

ПИЛИП

Лариса Валентиновна

кандидат ветеринарных наук, ФГБОУ ВО Вятский государственный агротехнологический университет, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, pilip_larisa@mail.ru

Ключевые слова:
защитные лесные
насаждения
животноводческие
комpleксы
запах
контроль запахового
загрязнения
рассеивание запаха
стратегия борьбы с
запахом

Аннотация: Запаховое загрязнение окружающей среды представляет одну из наиболее актуальных проблем качества воздуха при ведении интенсивного животноводства. На сегодняшний день существует несколько стратегий борьбы с неприятными запахами. Для поиска информации применяли сервисы eLIBRARY, КиберЛенинка, Scopus, Google Scholar, Web of Science, Академия Google, «Scholar.ru». Основу лингвистического моделирования предметного поля составляли с использованием ключевых слов. Эффективное управление запахами от животноводческих комплексов может быть достигнуто за счет внедрения технологии использования лесных защитных насаждений (искусственно созданных массивов из деревьев и кустарников, предназначенных для защиты сельскохозяйственных земель и объектов инфраструктуры от неблагоприятных воздействий, в том числе запаховой нагрузки). Лесные защитные насаждения в этом случае действуют как барьеры, уменьшающие скорость и изменяющие направление ветра, что приводит к эффективному рассеиванию (дисперсии) запаха. Это происходит благодаря физическому перехвату и улавливанию газов и аэрозольных частиц; разбавлению концентрированного запаха с подветренной стороны; осаждению на землю пыли и других аэрозолей из-за снижения скорости ветра; биологическому поглощению (ассимиляции) химических компонентов запаха после перехвата; улучшению эстетического восприятия объектов животноводства и сельских ландшафтов. Проектирование лесных защитных полос должно соответствовать почвенно-климатическим условиям района и наличию посадочного материала, а кроме того, имеет ряд особенностей, акцентируемых в этой работе применительно к животноводческим объектам.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Е. В. Коваль

Рецензент: М. Л. Сазанова

Получена: 07 февраля 2025 года

Подписана к печати: 27 декабря 2025 года

Введение

Защита воздуха от загрязнения, т. е. предотвращение попадания в атмосферу соединений, способных причинить вред здоровью и окружающей среде, является важнейшим условием сохранения природных экосистем и обеспечения активного долголетия населения. В настоящее время перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны атмосферного воздуха РФ, включает 293 наименования (Распоряжение Правительства РФ..., 2023). Для многих из этих веществ характерен специфический неприятный запах (Cao et al., 2023; Сырчина и др., 2024). Неприятные запахи вызывают чувство дискомфорта, отвращения и раздражения. У людей, проживающих вблизи источников запаха, чаще регистрируются различные эмоциональные и соматические нарушения, в т. ч. астма, атопический дерматит, неврологические расстройства (Гошин и др., 2020; Иванова и др., 2020; Parada-Ulloa et al., 2024; Piccardo et al., 2022). Для минимизации негативных последствий запахового загрязнения необходимо внедрение комплекса мер, направленных на ограничение выбросов загрязняющих веществ промышленными, сельскохозяйственными и коммунальными предприятиями (Пилип, Сырчина, 2018; Сырчина, Пилип, 2021; Колеватых и др., 2022; Сырчина и др., 2023). Согласно данным Агентства по охране окружающей среды США (EPA), выгоды, полученные от реализации мероприятий по защите воздуха от загрязнения, превышают затраты в 30 раз (Benefits, 2011).

Высокий уровень эмиссии широкого спектра запахообразующих веществ (ЗОВ) характерен для животноводческих предприятий (Терентьев и др., 2019; Пилип, Сырчина, 2023). Источником неприятного запаха служат сами животные, корма, а также побочные продукты животноводства – навоз, наливные стоки, птичий помет (Пилип, Ашихмина, 2017; Пилип, 2020; Богданова, 2023). В процессе микробиологической деструкции побочных продуктов животноводства образуются H_2S , NH_3 , короткоцепочечные жирные кислоты, тиоспирты, тиоэфиры, биогенные амины, спирты, фенолы, крезолы и многие другие соединения с весьма неприятным запахом (Hanajima et al., 2010; Ni et al., 2012; Marszałek et al., 2018; Woodbury, 2023). По имеющимся оценкам, объемы выбросов летучих органических соединений, NH_3 и H_2S

из свинарников достигают 0.4, 2.8 и 0.1 кг/год на одну свинью соответственно (Liu et al., 2014). От каждой коровы в год в атмосферу поступает примерно 8.6 кг NH_3 и 77 г H_2S (Shi et al., 2023). Ежегодное образование NH_3 в птичниках в среднем составляет 47 г на одну курицу (Bist et al., 2023). Соответствующие объемы выбросов вызывают существенное загрязнение окружающей среды. Согласно экспериментальным данным, содержания NH_3 в атмосферном воздухе на расстоянии 2 км от коровника на 320 скотомест достигает 0.55 мг/м³, H_2S – 0.10 мг/м³ (Вторый и др., 2022), что значительно выше среднегодовых нормативов, установленных в СанПиН 1.2.3685-21 (0.04 мг/м³ для NH_3 и 0.002 мг/м³ для H_2S).

В настоящее время ведется активный поиск способов уменьшения концентрации ЗОВ в атмосферном воздухе вблизи животноводческих предприятий. Достижение необходимого результата может быть обеспечено за счет снижения эмиссии ЗОВ или за счет повышения эффективности их рассеивания (дисперсии) в нижних слоях атмосферы. Первое направление предполагает использование химических реагентов, сорбентов, биопрепаратов, кормовых добавок, способствующих иммобилизации ЗОВ или ограничивающих микробиологические процессы деструкции компонентов побочных продуктов животноводства. Второе направление ориентировано на устройство барьеров на пути ламинарного движения загрязненных потоков воздуха и создание турбулентности, приводящей к эффективному разбавлению загрязненного воздуха чистым. Хороший барьерный эффект и эффективную дисперсию ЗОВ могут обеспечить правильно организованные защитные лесные насаждения (ЗЛН). Технология обустройства ЗЛН для снижения запаховой нагрузки на окружающую среду отличается высокой экологичностью и полностью соответствует принципам зеленой экономики, однако в РФ данной технологии уделяется недостаточно внимания.

Цель работы – систематизировать и обобщить опубликованные данные, посвященные вопросам проектирования и обустройства защитных лесных насаждений на территориях животноводческих предприятий для снижения запаховой нагрузки на окружающую среду.

Аналитический обзор

Статья содержит обзор научной информации, посвященной проблеме обустрой-

ства ЗЛН для рассеивания запаха, источником которого являются животноводческие предприятия. В обзор включены результаты научных исследований, опубликованные в период с 1982 по 2025 г. в рецензируемых научных изданиях, материалах конференций, сборниках научных трудов, а также нормативные документы, устанавливающие общие принципы, правила и характеристики в сфере защиты атмосферного воздуха от загрязнения.

Для поиска информации применяли сервисы eLIBRARY, КиберЛенинка, Scopus, Google Scholar, Web of Science, Академия Google, «Scholar.ru». Основу лингвистического моделирования предметного поля составляли следующие ключевые слова: животноводство, побочные продукты животноводства, запах, дисперсия запаха, защитные лесные насаждения, а также ключевые слова из научных статей близкой тематики. Основное внимание в обзоре уделено таким вопросам, как перспективы применения ЗЛН для снижения запаховой нагрузки на окружающую среду, механизмы дисперсии запаха и технология обустройства ЗЛН.

Контроль запаха на предприятиях животноводства

Борьба с запаховым загрязнением окружающей среды предприятиями животноводства представляет весьма сложную задачу, что обусловлено высоким содержанием загрязняющих веществ в воздухе помещений для животных и на прилегающих территориях. Интенсивная эмиссия ЗОВ в основном обусловлена процессами микробиологической деструкции побочных продуктов животноводства, объемы образования которых значительно превосходят объемы выхода основной животноводческой продукции (Jayathilakan et al., 2012; Kostic et al., 2020).

Ужесточение нормативных требований к качеству атмосферного воздуха и низкая толерантность населения к наличию неприятных запахов повышают интерес к поиску технологических решений, позволяющих снизить концентрацию ЗОВ в приповерхностном слое тропосферы. Определенные положительные результаты удается получить за счет оптимизации рациона животных; обработка побочных продуктов животноводства химическими реагентами, сорбентами, биопрепаратами; очистки отработанного воздуха от загрязняющих веществ; изоляции мест хранения и обработки побочных продуктов животноводства (например, обустройство

крытых лагун); повышения эффективности рассеивания ЗОВ в нижних слоях атмосферы; изменения гедонистического тона (маскировки) запаха (Hamilton, Ogejo, 2017; Caо et al., 2023; Park et al., 2024).

При выборе вариантов контроля запаха учитываются такие факторы, как особенности источника ЗОВ (места хранения побочных продуктов животноводства, помещения для животных, объекты землепользования), организация производства в условиях конкретного хозяйства, территориальное расположение предприятия и ландшафт, баланс затрат и экономической выгоды от внедрения технологии в практику. Некоторые представления о практической ценности тех или иных способов контроля запахового загрязнения позволяет получить анализ информации, характеризующий отношение американских производителей свинины к различным методам контроля запаха (таблица) (Kliebenstein et al., 2003).

Согласно результатам опросов, чаще всего животноводы отказывались от использования химических методов снижения эмиссии ЗОВ (озонирование, обработка навоза реагентами, использование кормовых добавок). Самые низкие доли неудовлетворенности достигаемым результатом и отказ от применения в практической деятельности получил метод обустройства ветроломных полос и сооружений.

В США разработана веб-программа планирования и проектирования растительных экологических буферов под названием VEB-Econ. Программа позволяет пользователям выбрать оптимальный видовой состав и местоположение рядов деревьев, оценивает общие годовые затраты на посадку деревьев и долгосрочное управление, а также любые альтернативные издержки и факторы в распределении затрат (Tyndall et al., 2018).

В РФ целесообразность создания ЗЛН на предприятиях животноводства обоснована в рекомендациях по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета (Мишурев, 2018).

Преимущества и недостатки защитных лесных насаждений для контроля запаха

Согласно ГОСТ 26462-85, защитное лесное насаждение представляет собой естественное или искусственное лесное насаждение для защиты природных, сельскохозяйственных, промышленных, коммунальных и транспортных объектов от неблагоприятно-

Удовлетворенность производителей свинины различными методами контроля запаха

Метод контроля запаха	Применяют или применяли метод	Доля от числа опрошенных, %			
		Удовлетворены	Безразличны	Не удовлетворены	Отказались от применения
Ветроломные (windbreaks) полосы и сооружения*	38.14	63.64	35.45	0.91	0.95
Подстилка	36.12	59.00	34.10	6.90	15.76
Глубокие навозные ямы	77.05	76.60	20.48	2.93	1.39
Лагуны	8.54	45.16	41.94	12.90	4.17
Сепарация	4.09	60.00	35.00	5.00	8.70
Компостирование навоза	20.28	65.69	26.47	7.84	13.16
Обработка навоза реагентами	42.70	23.36	44.39	32.24	54.17
Озонирование	1.78	0.00	62.50	37.50	70.00
Кормовые добавки	27.05	37.96	43.80	18.25	30.92
Внесение НС в почву	69.40	88.32	10.83	0.85	7.18

Примечание. Термины «Ветроломные полосы» (англ. windbreaks) и «защитные лесные насаждения» в контексте настоящей статьи используются как синонимы.

го воздействия природных и антропогенных факторов. Для искусственного ЗЛН в виде ленты рекомендовано название «лесная полоса» (ЛП). Полноценная ЛП представляет собой сложную биогеоценотическую систему, выполняющую комплекс функций: ветроломную, снегораспределительную, стокорегулирующую, противоэрозионную, почвозащитную, эстетическую оздоровительную, рекреационную (Кулик, 2018; Nowak, 2002; Lin et al., 2007).

К основным преимуществам технологии создания ЗЛН (растительных экологических буферов) для поглощения и дисперсии ЗОВ можно отнести экологичность и экономичность (Hernandez et al., 2012; Mume, Workalemahu, 2021; Weninger et al., 2021). Хорошо известно, что ЗЛН действуют как барьеры, уменьшающие скорость и изменяющие направление ветра, что приводит к разбавлению (дисперсии) запаха. Лесные полосы обеспечивают визуальную изоляцию источников запаха, активно улавливают пыль, рассеивают и частично поглощают ЗОВ и парниковые газы, улучшают качество почвы и экологическую обстановку на территории размещения животноводческих предприятий (Patterson, Adizal, 2005; Kulshreshtha, Kort, 2009; Tyndall, Larsen, 2013; Ajami et al., 2019).

Большое влияние на функциональные характеристики ЛП оказывает ее структура (Wang et al., 2001; Zhou et al., 2005). Поскольку источники запаха (лагуны, компостные площадки, одноэтажные помещения для

животных) находятся вблизи поверхности почвы, а шлейф запаха имеет тенденцию распространяться в приповерхностном слое воздуха, ЛП даже небольшой высоты (6–12 м) могут быть эффективными для перехвата, разрушения и разбавления шлейфа. Достигаемый результат существенно зависит от видового состава растений, а также высоты, пористости и ориентации ЛП по отношению к источнику запаха и розе ветров. Правильно спроектированные ЗЛН могут быть основным и даже единственным технологическим подходом к эффективному устранению запахов.

К недостаткам технологии создания ЗЛН следует отнести (Mize et al., 2008):

- значительный период времени для достижения растениями необходимых размеров. Деревьям должно быть не менее 3–5 лет, прежде чем будет заметен выраженный эффект;
- для размещения посадок необходимо значительное свободное пространство;
- за растениями в ЗЛН необходим квалифицированный уход (особенно в первые годы после посадки растений).

Следует отметить, что растения в насаждениях вокруг животноводческих ферм или комплексов часто не выдерживают нагрузки загрязняющих веществ и гибнут (Макарова, 2016).

Механизмы снижения запаха защитными лесными насаждениями

Анализ опубликованных работ позволяет выделить пять основных взаимосвязанных

факторов, с помощью которых ЗЛН могут смягчить неприятные запахи от животноводческих предприятий.

Физический перехват и улавливание газов, пыли и других аэрозольных частиц. Закрытые помещения для содержания животных (свиней, птиц и др.) обычно оборудованы мощными вентиляционными системами. Удаляемый из помещений отработанный воздух содержит значительное количество пыли, микроорганизмов и несвойственных чистому атмосферному воздуху газов (Богданова, 2023; Косимов, 2024). Пылевидные частицы являются сорбентами и переносчиками различных ЗОВ. Загрязненный воздух в большинстве случаев выбрасывается в атмосферу без предварительной очистки. В зависимости от складывающихся климатических условий «шлейфы» запаха могут перемещаться на значительные расстояния.

Растения, входящие в состав ЗЛН, благодаря веткам и развитой листовой поверхности, активно фильтруют потоки воздуха, удаляя часть пыли, газов и микроорганизмов. Наиболее эффективно улавливают пыль растения, имеющие сложную структуру поверхности, например, хвойные или деревья с покрытыми волосками или шероховатыми листьями (вяз, ольха, липа). Растения с кожистыми и гладкими листьями (например, тополь, клен, сирень) улавливают пыль менее эффективно. Нелистопадные хвойные породы, в отличие от листопадных деревьев и кустарников, способны улавливать пыль круглый год. Более молодые и небольшие деревья, благодаря большей плотности листьев, более эффективно удаляют твердые пылевидные частицы по сравнению с более крупными зрелыми экземплярами (Nowak, 2002; Liu et al., 2012; Radhapriya et al., 2012; Sharma et al., 2017).

Разбавление и рассеивание запаха с подветренной стороны защитной лесной полосы. Известно, что запах усиливается в стабильных атмосферныхочных условиях при скорости ветра от низкой до умеренной, когда приповерхностный воздух, загрязненный ЗОВ, не поднимается вверх, а остается у поверхности и распространяется почти ламинарным потоком над местностью в соответствии с ее рельефом. Большинство случаев возникновения запаха регистрируется в промежутках между 5–7 и 19–22 часами, что связано с относительно высокой активностью в жилых помещениях и стабильными атмосферными условиями (Jacobson et al., 2001).

Важную роль в распространении запаха играет и температура воздуха. При более высоких температурах улучшаются условия для анаэробного разложения органических отходов, при этом многие ЗОВ переходят в газообразное состояние. Сочетание теплой погоды и стабильных погодных условий в вечерние и утренние часы приводит к тому, что шлейф запаха может распространяться на расстояние более 3 км (National Pork..., 1995).

Защитные полосы способны поднимать часть шлейфа запаха над поверхностью, способствуя процессам разбавления и рассеивания. Когда ветер приближается к ряду деревьев, часть воздушного потока проходит сквозь растительность, часть – вокруг нее, а оставшаяся часть поднимается вверх и над растительностью. Подъем начинается на некотором расстоянии с наветренной стороны, обычно на расстоянии равном 2–5-кратной высоте защитной полосы. Чем выше барьер, тем выше подъем воздуха. Смешивание загрязненного воздуха с чистым приводит к снижению концентрации ЗОВ и уменьшению интенсивности запаха. Согласно расчетам, высокие барьеры вокруг навозных лагун могут сократить выбросы ЗОВ с подветренной стороны на 26–92 % для диапазона отношения расстояния между барьерами к высоте от 8 до 0.6 (Liu et al., 1996). Соответствующее сокращение во многом обусловлено предотвращением прохождения пылевидных частиц, способных сорбировать ЗОВ, над поверхностью лагуны. Благодаря этому снижаются риски переноса выделяемых из лагун ЗОВ с пылью в окружающую среду.

В результате выполненных в Канаде экспериментальных исследований (Lin et al., 2006) было установлено, что:

- лесные полосы с низкой оптической пористостью (~35 %) создают более выраженный эффект снижения запаха (оптическая пористость является двумерной мерой пористости);

- ряд хвойных деревьев на расстоянии 15 м от источника запаха обеспечивает большую дисперсию запаха, чем ряд лиственных деревьев на том же расстоянии;

- ряд деревьев, расположенный ближе к источнику запаха, способствует более выраженной дисперсии запаха, чем ряд деревьев, расположенный дальше по ветру.

Осаждение на землю пыли и других аэрозолей из-за снижения скорости ветра. Изменения турбулентности воздуха и снижение скорости ветра создают условия,

при которых переносимые ветром частицы осаждаются ближе к источнику запаха, чем это было бы без ЗЛН. Характер турбулентности воздушных потоков вокруг ЛП является предметом многочисленных исследований. Установлено, что слишком плотные ЛП создают в подветренной зоне эффект стены, что снижает степень дисперсии. Более пористый барьер лучше рассеивает потоки воздуха. Эффект защиты от переноса пылевидных частиц достигает максимальных значений при пористости ЗЛН от 40 до 60 % (Torshizi et al., 2020; Chang et al., 2021).

Биосорбция запахообразующих веществ растениями. Биосорбция загрязняющих веществ растениями возможна путем диффузии газообразных или растворенных в воде веществ через открытые устьица или клеточные стенки растительных тканей. Согласно опубликованным данным, скорость биосорбции некоторых загрязняющих веществ (в частности SO_2) у хвойных растений выше, чем у лиственных (Elkley et al., 1982).

Сорбции летучих органических веществ способствует липофильная кутикула листьев. Установлено, что особенно эффективно кутикула сорбирует летучие азотсодержащие соединения. Интенсивность сорбции усиливается при повышении относительной влажности воздуха и снижении давления паров вещества (Matyssek et al., 1995; Asman et al., 1998). Оба эти явления обычно происходят в подветренной тихой зоне ЗЛН. В зависимости от пористости ЛП относительная влажность в защищенных зонах обычно на 2–4 % выше, чем на открытых площадках. Температура в таких зонах также на несколько градусов выше, чем на открытой местности, что способствует процессам биосорбции. Активная биосорбция загрязняющих веществ характерна и для многочисленных групп микроорганизмов, обитающих на поверхности растений. Механизмы и эффективность биосорбционных процессов различных загрязняющих веществ в настоящее время активно изучаются (Gadd, 2009; Brazesh et al., 2021; Meena et al., 2021).

Анализ опубликованных данных дает основания сделать следующие обобщения (Tyndall et al., 2007):

- скорость биосорбции повышается по мере увеличения растворимости загрязняющих веществ в воде. На влажной поверхности растений скорость их удаления может увеличиваться в 10 раз;
- стрессовые состояния растений, обусловленные недостатком влаги и солнечно-

го света, препятствуют поглощению загрязняющих веществ;

– наиболее интенсивное поглощение загрязняющих веществ листвой наблюдается вблизи поверхности полога;

– скорость удаления загрязняющих веществ может линейно возрастать по мере увеличения их концентрации.

Улучшение эстетического восприятия объектов животноводства и сельских ландшафтов. Защитные лесные полосы разнообразят внешний вид сельскохозяйственных ландшафтов и делают сельскохозяйственные угодья визуально более привлекательными. Скрытые деревьями источники запаха меньше раздражают население, чем источники, находящиеся на виду (Grala et al., 2010; Tyndall, Larsen, 2013).

Оценка дисперсии запаха по ветру от естественной лесной полосы методом моделирования показала, что ЛП действительно изменила величину и направление скорости ветра, создав тем самым скачок давления по всей ее ширине. Этот скачок давления создает сильную турбулентность по ветру, образуя слой смещивания, способный усилить рассеивание запаха (Lin et al., 2009).

Проектирование лесных полос вблизи объектов животноводства

Создание ЛП является важным мероприятием в общем оздоровлении нарушенных природных комплексов, включая земли сельскохозяйственного назначения. Кроны деревьев задерживают и рассеивают осадки, подстилка защищает почву от разрушения, корни растений укрепляют грунт (Белюченко, 2020).

При проектировании ЛП следует учитывать почвенно-климатические условия региона и ассортимент доступного посадочного материала. Предпочтение отдается устойчивым к неблагоприятным факторам среди долгоживущим древесным породам, способным сформировать стабильные и долговечные насаждения (Семенютина, Терешкин, 2016). Состав лесных культур подбирают исходя из лесорастительных условий обустраиваемой территории и целевого назначения ЗЛН (Чернышов, 2015).

Большое значение имеют особенности корневой системы деревьев, поскольку находящиеся в стороны корни могут повредить защитное покрытие внутренней поверхности лагун. Необходимо учитывать размеры зрелой растительности, чтобы выросшие деревья или кустарники не стали опасными.

Длина ЛП не должна быть меньше ширины источника неприятного запаха, поскольку шлейфы запаха в начале образования соответствуют ширине источника выбросов и могут расширяться по мере удаления от источника в зависимости от погоды и ландшафтных условий.

Важное значение для улавливания ЗОВ имеет обеспечение оптимальной плотности (пористости) ЛП. Уровень пористости должен обеспечивать такую интенсивность потока воздуха через ЛП, чтобы пылевидные частицы имели возможность контактировать с поверхностью растений и создавать внутреннюю турбулентность. Чрезмерно плотная полоса выталкивает основную часть воздушного потока вверх и через полосу, что снижает эффективность улавливания частиц (Ucar, Hall, 2001).

Общее осаждение частиц в ЛП определяется компромиссом между уровнем пористости, способствующей сквозному потоку воздуха, содержащего пылевидные частицы, и достаточной плотностью, способствующей контакту частиц с поверхностью деревьев. Имеются данные о том, что оптимальная пористость для улавливания пыли должна составлять 40–50 %. Следует отметить, что эти данные касаются только улавливания грубодисперсных частиц (пыли, капель). Для дисперсии содержащихся в воздухе молекул ЗОВ требуется обеспечивать более низкую пористость ЛП. В исследованиях (Lin et al., 2007) показано, что более плотные ЛП оказали большее влияние на снижение длины шлейфа запаха, чем менее плотные. Лесные полосы с оптической пористостью 0.55 не оказывали существенного влияния на распространение запаха. Необходимый уровень пористости может быть достигнут за счет регулирования ширины ЛП, видового состава и количества рядов древесной растительности.

Для обеспечения оптимального разбавления шлейфа запаха большое значение имеет не только пористость ЛП, но и ее высота, а также расстояние от источника запаха. Моделирование распространения запаха показывает, что эффективность дисперсии повышается при сокращении расстояния между источником и ЛП (Suzelle et al., 2011). Оптимальное расстояние между ЛП и источником запаха следует рассчитывать с учетом ландшафта конкретного участка, почвенно-

климатических условий, вида высаживаемых деревьев и/или кустарников.

Некоторые виды деревьев, которые не слишком эффективно улавливают пылевидные частицы, но быстро растут (например, тополь), могут быть весьма подходящими в качестве деревьев-нянь – деревьев, которые могут обеспечить быстрый набор высоты на время подрастания хвойных пород.

Имеются ограниченные эмпирические данные, свидетельствующие о том, что клиновидный пояс (например, несколько рядов деревьев и кустарников разной высоты), в котором самый низкий ряд обращен к преобладающему ветру, может «направлять» (выталкивать) воздушные потоки выше в атмосферу.

Заключение

Создание лесных насаждений для защиты атмосферного воздуха от запахового загрязнения является важным элементом в общей системе мероприятий, направленных на оздоровление экологической обстановки на территориях размещения животноводческих комплексов.

Такие вопросы, как оценка эффективности, дизайн и технологии обустройства защитных лесных насаждений для снижения запахового загрязнения окружающей среды, активно изучаются за рубежом. В публикациях отечественных ученых проблема обустройства защитных лесных насаждений для дисперсии запаха не находит должного отражения, что существенно затрудняет возможность их эффективного проектирования в почвенно-климатических условиях конкретных регионов РФ.

При обустройстве защитных лесных насаждений на территориях складирования и обработки побочных продуктов животноводства могут возникнуть определенные сложности, обусловленные ограниченностью площади участков, пригодных для их размещения, существенным загрязнением почвы, изменением естественных характеристик грунтов под влиянием антропогенного воздействия, ограниченным видовым составом древесной растительности, пригодной для создания защитных лесных насаждений в суровых почвенно-климатических условиях на нарушенных техногенно участках. Данные аспекты проблемы требуют целенаправленного изучения и комплексной оценки.

Библиография

- Белюченко И. С. Лесные полосы и их функционирование в аграрном ландшафте // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 2. С. 30–36.
- Богданова В. В. Проблемы свиноводческой деятельности, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве свинарников // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 1 (58). С. 259–263.
- Вторый В. Ф., Вторый С. В., Базыкин В. И. Результаты исследований концентраций климатически активных газов в коровнике с беспривязным содержанием // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4 (113). С. 114–120. DOI: 24412/2713-2641-2022-4113-114-120
- Гошин М. Е., Бударина О. В., Ингель Ф. И. Запахи в атмосферном воздухе: анализ связи с состоянием здоровья и качеством жизни взрослого населения города с развитой пищевой промышленностью // Гигиена и санитария. 2020. № 99 (12). С. 1339. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345
- Иванова С. В., Сковронская С. А., Гошин М. Е., Бударина О. В., Куликова А. З. Влияние запаха на физиологические, эмоциональные и когнитивные аспекты здоровья человека в экспериментальных условиях (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2020. № 99 (12). С. 1370. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1370-1375
- Кулик К. Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 4. С. 18–21.
- Колеватых Е. П., Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165
- Қосимов Х. О. Загрязнения окружающей среды отходами сельскохозяйственных животных // Tadqiqotlar. 2024. Т. 30, № 1. С. 182–187.
- Макарова Н. М. Лесные мелиорации прифермских территорий и санитарные показатели атмосферного воздуха // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4 (94). С. 191–195.
- Мишурев Н. П. Рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета // Техника и технологии в животноводстве. 2018. № 4 (32). С. 44–56.
- Пилип Л. В. Анализ экологических рисков отрасли свиноводства в Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1 (3). С. 1.
- Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Отходы свиноводческих комплексов – проблемы, пути решения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров: Вятский государственный университет, 2017. С. 180–183.
- Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Иппология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99–106.
- Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46–54. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54
- Распоряжение Правительства РФ от 20 октября 2023 г. № 2909-р МОСКВА . URL: <http://static.government.ru/media/files/r1xcxWobSKewpJxZ7mdor2MXyLlukkdA.pdf> (дата обращения: 05.02.2025).
- Семенютина А. В., Терешкин А. В. Защитные лесные насаждения: анализ видового состава и научные основы повышения биоразнообразия дендрофлоры // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 99–104.
- Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106
- Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019
- Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116
- Терентьев Ю. Н., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Пилип Л. В. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
- Чернышов М. П. Требования к искусственному лесовосстановлению в защитных лесах лесостепной зоны европейской части Российской Федерации // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2–1 (13–1). С. 153–157.
- Ajami A., Sanjay B. Shah, Lingjuan Wang-Li, Praveen Kolar. Windbreak Wall-Vegetative Strip System to

- Reduce Air Emissions from Mechanically Ventilated Livestock Barns: Part 2. Swine House Evaluation // Water, Air, & Soil Pollution. 2019. Vol. 230. P. 1–28. DOI: 1007/s11270-019-4335-2
- Asman W. A. H., Sutton M. A., Schjorring J. K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition // New Phytologist. 1998. Vol. 139, № 1. P. 27–48.
- Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990–2020. Report Documents and Graphics. EPA. Environmental Protection Agency, 2011. URL: <https://hepg.hks.harvard.edu/publications/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-report-documents-and-graphics> (дата обращения: 05.02.2025).
- Bist R. B., Subedi S., Chai L., Yang X. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review // Journal of Environmental Management. 2023. № 328. Article № 116919. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116919
- Brazesh B., Mousavi S. M., Zarei M., Ghaedi M., Bahrani S., Hashemi S. A. Biosorption // Interface Science and Technology. Elsevier. 2021. Vol. 33. P. 587–628. DOI: 10.1016/B978-0-12-818805-7.00003-5
- Cao T., Zheng Y., Dong H. Control of odor emissions from livestock farms: A review // Environmental Research. 2023. Vol. 225. Article № 115545. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115545
- Chang X., Sun L., Yu X., Liu Z., Jia G., Wang Y., Zhu X. Windbreak efficiency in controlling wind erosion and particulate matter concentrations from farmlands // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. Vol. 308. Article № 107269. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107269
- Elkiew T., Ormrod D. P., Marie B. Foliar sorption of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ozone by ornamental plants atmospheric pollutants // Horticult Science. 1982. Vol. 17, № 3. P. 358–360. DOI: 21273/HORTSCI.17.3.358
- Gadd G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment // Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology. 2009. Vol. 84, № 1. P. 13–28. DOI: 10.1002/jctb.1999
- Grala R. K., Tyndall J. C., Mize C. W. Impact of field windbreaks on visual appearance of agricultural lands // Agroforestry systems. 2010. Vol. 80. P. 411–422. DOI: 10.1007/s10457-010-9335-6
- Hamilton D. W., Ogejo J. A. Strategies to control farmstead odors // Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. 2017. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/bae/strategies-to-control-farmstead-odors-bae-2905.pdf> (дата обращения: 12.09.2024).
- Hanajima D., Kuroda K., Morishita K. et al. Key odor components responsible for the impact on olfactory sense during swine feces composting // Bioresource technology. 2010. Vol. 101, № 7. P. 2306–2310. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.026
- Hernandez G., Trabue S., Sauer T., Pfeiffer R., Tyndall J. Odor mitigation with tree buffers: Swine production case study // Agriculture, ecosystems & environment. 2012. Vol. P. 154–163. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.002
- Jacobson L. D., Guo H., Schmidt D. R., Nicolai R. E. Influence of weather condition on field evaluation of odor dispersions from animal production sites // Livestock environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium. Louisville, Kentucky, USA, 2001. P. 679–686.
- Jayathilakan K., Sultana K., Radhakrishna K., Bawa A. S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review // Journal of food science and technology. 2012. Vol. 49, № 3. P. 278–293. DOI: 10.1007/s13197-011-0290-7
- Kostic B., Stevanovic G., Lutovac M., Lutovac B., Ketic S., Biocanin R. Animal manure and environment // Fresenius Environmental Bulletin. 2020. Vol. 29, № 3. P. 1289–1296.
- Kliebenstein J. B., Loromer J., Larson B. Odor Control Methods Used by Iowa Pork Producers. Iowa State University. Department of Economics, 2003. URL: https://www.researchgate.net/profile/James-Kliebenstein/publication/5130904_ODOR_CONTROL_METHODS_USED_BY_IOWA_PORK_PRODUCERS/links/0912f5123aba20e4e8000000/ODOR-CONTROL-METHODS-USED-BY-IOWA-PORK-PRODUCERS.pdf (дата обращения: 12.09.2024).
- Kulshreshtha S., Kort J. External economic benefits and social goods from prairie shelterbelts // Agroforestry Systems. 2009. Vol. 75, № 1. P. 39–47. DOI: 10.1007/s10457-008-9126-5
- Lin X. J., Barrington S., Nicell J., Choiniere D., Vezina A. Influence of windbreaks on livestock odour dispersion plume in the field // Agriculture, ecosystems & environment. 2006. Vol. 116 (3). № 34. P. 263–272. DOI: 10.1016/j.agee.2006.02.014
- Lin X. J., Barrington S., Nicell J. A., Choiniere D. Livestock Odour Dispersion as Affected by Natural Windbreaks // Water Air and Soil Pollution. 2007. Vol. 182, № 1. P. 263–273. DOI: 10.1007/s11270-007-9337-9
- Lin X. J., Barrington S., Gong G., Choiniere D. Simulation of odour dispersion downwind from natural windbreaks using the computational fluid dynamics standard $k-\epsilon$ model // Canadian Journal of Civil Engineering. 2009. Vol. 36, № 5. P. 895–910. DOI: 10.1139/S08-057
- Liu L., Guan D., Peart M. R. The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China // Environmental Science and Pollution Research. 2012. Vol. 19. P. 3440–3449.
- Liu Q., Bundy D. S., Hoff S. J. The effectiveness of using tall barriers to reduce odor emission // Proceedings

- of the International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations, Midwest Plan Service, Ames, Ia., 1996. P. 403–407.
- Liu Z., Powers W., Mukhtar S. A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities // Applied Engineering in Agriculture. 2014. Vol. 30, № 3. P. 477–492.
- Marszałek M., Kowalski Z., Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry-effect on the environment and methods of its reduction // Ecological Chemistry and Engineering S. 2018. Vol. 25, № 3. P. 383–394.
- Matyssek R., Reich P., Oren R., Winner W. E. Response mechanisms of conifers to air pollutants // Ecophysiology of coniferous forests. Academic Press. 1995. P. 255–308. DOI: 10.1016/B978-0-08-092593-6.50014-1
- Meena M., Sonigra P., Yadav G. Biological-based methods for the removal of volatile organic compounds (VOCs) and heavy metals // Environmental science and pollution research. 2021. Vol. 28, № 3. P. 2485–2508.
- Mize C. W., Brandle J. R., Schoeneberger M. M., Bentrup G. Ecological development and function of shelterbelts in temperate North America // Toward agroforestry design: An ecological approach. 2008. P. 27–54.
- Mume I. D., Workalemahu S. Review on windbreaks agroforestry as a climate smart agriculture practices // American Journal of Agriculture and Forestry. 2021. Vol. 9, № 6. P. 342–347. DOI: 10.11648/j.ajaf.20210906.12
- National Pork Producers Council An executive summary: a review of literature on nature and control of odors from pork production facilities: a report prepared by Bioresource Engineering Department Oregon State University for the subcommittee of the National Pork Producers Council. 1995. URL: <http://www.mtcnet.net/~jdhogg/ozone/odor/odorlitreview.html> (дата обращения: 05.02.2025).
- Ni J. Q., Robarge W. P., Xiao C., Heber A. J. Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review // Chemosphere. 2012. Vol. 89, № 7. P. 769–788.
- Nowak D. J. The effects of urban trees on air quality // USDA forest service. 2002. P. 96–102.
- Parada-Ulloa M., Bozo Marambio, Moreno-Leiva G., Vasquez-Burgos K. Social representations of odors: case study in the Ñuble region, Chile (2019–2023) // Frontiers in Social Psychology. 2024. Vol. 2. Article 1396536. DOI: 10.3389/frsp.2024.1396536
- Park M. K., Hwang T. K., Kim W., Jo Y. J., Park Y. J. Probiotic feed additives mitigate odor emission in cattle farms through microbial community changes // Fermentation. 2024. Vol. 10, № 9. Article № 473.
- Patterson P. H., Adrizal A. Management strategies to reduce air emissions: emphasis—dust and ammonia // Journal of Applied Poultry Research. 2005. Vol. 14, № 3. P. 638–650.
- Piccardo M. T., Geretto M., Pulliero A., Izzotti A. Odor emissions: A public health concern for health risk perception // Environmental Research. 2022. Vol. 204 (2). Article № 112121. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112121
- Radhapriya, Navaneetha Gopalakrishnan A., Malini P., Ramachandran A. Assessment of air pollution tolerance levels of selected plants around cement industry, Coimbatore, India // Journal of Environmental Biology. 2012. Vol. 33 (3). P. 635–641.
- Sharma B., Sharma S., Bhardwaj S. K. Plant-pollutant interactions with a special mention of dust accumulation by plants-A Review // Nature Environment & Pollution Technology. 2017. Vol. 16, № 2. P. 375–384.
- Shi Z., Xi L., Zhao X. Measurement of ammonia and hydrogen sulfide emission from three typical dairy barns and estimation of total ammonia emission for the chinese dairy industry // Animals. 2023. Vol. 13, № 14. Article № 2301. DOI: 10.3390/ani13142301
- Suzelle B., Jun L. X., Denis C. Simulating odour dispersion about natural windbreaks // Comput. Fluid Dyn. Technol. Appl. 2011. Vol. 181. P. 182–215. DOI: 10.5772/19084
- Torshizi M. R., Miri A., Shahriari A., Dong Z., Davidson-Arnott R. The effectiveness of a multi-row Tamarix windbreak in reducing aeolian erosion and sediment flux, Niatakarea, Iran // Journal of environmental management. 2020. Vol. 265. Article № 110486. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110486
- Tyndall J., Colletti J. Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: a review // Agroforestry system. 2007. Vol. 69, № 1. P. 45–65. DOI: 10.1007/s10457-006-9017-6
- Tyndall J. C., Larsen G. L. Drake Vegetative environmental buffers for odor mitigation // Pork Information Gateway. 2013. URL: <https://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/vegetative-environmental-buffers-for-odor-mitigation.pdf> (дата обращения: 05.02.2025).
- Tyndall J. C., Randell J., VanDyk J. VEB-econ: An outreach tool for designing vegetative environmental buffers // Journal of Extension. Vol. 56, № 7. P. 45–65. DOI: 10.34068/joe.56.07.06
- Ucar T., Hall F. R. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review // Pest Manage Science. 2001. Vol. 57 (8). P. 663–675. DOI: 10.1002/ps.341
- Wang H., Takle E., Shen J. Shelterbelts and windbreaks: Mathematical modeling and computer simulation of turbulent flows // Annual Review of Fluid Mechanics. 2001. № 33 (1). P. 549–586. DOI: 10.1146/annurev.fluid.33.1.549

- Weninger T., Scheper S., Lackóová L., Kitzler B., Gartner K., King N. W., Cornelis W., Strauss P., Michel K. Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review // Environmental Research Letters. 2021. Vol. 16, № 10. Article № 103002. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1d0d
- Woodbury B. L. Emission of volatile organic compounds from land-applied beef cattle manure as affected by application method, diet, and soil water condition // Journal of the ASABE. 2022. № 65 (1). P. 123–133. DOI: 10.13031/ja.14587
- Zhou X., Brandle J., Mize C., Takle E. Three-dimensional aerodynamic structure of a tree shelterbelt: definition, characterization and working models // Agroforestry Systems. 2005. № 63 (2). P. 133–147. DOI: 10.1007/s10457-004-3147-5

STRATEGY OF USING PROTECTIVE FOREST STANDS TO EFFECTIVELY DISPERSE ODORS FROM LIVESTOCK COMPLEXES (REVIEW)

**SYRCHINA
Nadezhda Viktorovna**

*PhD, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Vyatka State University, 36, Moskovskaya St., Kirov, Kirov region, Russia,
nvms1956@mail.ru*

**PILIP
Larisa Valentinovna**

*PhD, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Vyatka State Agrotechnological University, 133, Oktyabrsky Ave., Kirov,
Kirov region, Russia, pilip_larisa@mail.ru*

Key words:
protective forest stands
livestock farms
odor
odor pollution control
odor dispersion
an odor control strategy

Summary: Odor pollution of the environment is one of the most pressing air quality issues in intensive stock farming. To date, there are several strategies for combating unpleasant odors. To search for information, we used the following services: eLIBRARY, CyberLeninka, Scopus, Google Scholar, Web of Science, Google Academy, and Scholar.ru. The linguistic modeling of the subject field was based on keywords. Effective management of odors from livestock complexes can be achieved through the introduction of technology for the use of protective forest stands, i.e. artificially created arrays of trees and shrubs designed to protect agricultural lands and infrastructure from adverse effects, including odor load. In this case, protective forest stands act as barriers that reduce the speed and change the direction of the wind, which leads to effective dispersion of the odor. This occurs through physical interception and capture of gases and aerosol particles, dilution of concentrated odor from the downwind side, deposition of dust and other aerosols on the ground due to a decrease in wind speed, biological absorption (assimilation) of chemical components of the smell after interception. This helps to improve the aesthetic perception of livestock facilities and rural landscapes. The design of protective forest stands should correspond to the soil and climatic conditions of the region and the availability of planting material. In addition, it has a number of features emphasized in this work in relation to livestock facilities.

Reviewer: E. V. Koval
M. L. Sazonova

Received on: 07 February 2025

Published on: 27 December 2025

References

- Ajami A., Sanjay B. Shah, Lingjuan Wang-Li, Praveen Kolar. Windbreak Wall-Vegetative Strip System to Reduce Air Emissions from Mechanically Ventilated Livestock Barns: Part 2. Swine House Evaluation, Water, Air, & Soil Pollution. 2019. Vol. 230. P. 1–28. DOI: 10.1007/s11270-019-4335-2
- Asman W. A. H., Sutton M. A., Schjorring J. K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition, New Phytologist. 1998. Vol. 139, No. 1. R. 27–48.
- Belyuchenko I. S. Forest belts and their functioning in agrarian landscape, Ekologicheskiy Vestnik Severnogo Kavkaza. 2020. T. 16, No. 2. P. 30–36.
- Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990–2020. Report Documents and Graphics. EPA. Environmental Protection Agency, 2011. URL: <https://hepg.hks.harvard.edu/publications/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-report-documents-and-graphics> (data obrascheniya: 05.02.2025).
- Bist R. B., Subedi S., Chai L., Yang X. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review, Journal of Environmental Management. 2023. No. 328. Article No. 116919 DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116919
- Bogdanova V. V. The problems of pig farming that must be taken into account when designing and building pigsties, Vestnik nauki. 2023. T. 4, No. 1 (58). P. 259–263.
- Brazesh B., Mousavi S. M., Zarei M., Ghaedi M., Bahrani S., Hashemi S. A. Biosorption, Interface Science and Technology. Elsevier. 2021. Vol. 33. P. 587–628. DOI: 10.1016/B978-0-12-818805-7.00003-5
- Cao T., Zheng Y., Dong N. Control of odor emissions from livestock farms: A review, Environmental Research. 2023. Vol. 225. Article No. 115545. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115545
- Chang X., Sun L., Yu X., Liu Z., Jia G., Wang Y., Zhu X. Windbreak efficiency in controlling wind erosion and

- particulate matter concentrations from farmlands, Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. Vol. 308. Article No. 107269. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107269
- Chernyshov M. P. Requirements for artificial reforestation in protective forests of the forest-steppe zone of the European part of the Russian Federation, Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3, No. 2–1 (13–1). P. 153–157.
- Decree of the Government of the Russian Federation dated October 20, 2023 No. 2909-r MOSCOW. URL: <http://static.government.ru/media/files/r1xcxWobSKewpJxZ7mdor2MXyLukkdA.pdf> (data obrascheniya: 05.02.2025).
- Elkley T., Ormrod D. P., Marie B. Foliar sorption of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ozone by ornamental plants atmospheric pollutants, Horticult Science. 1982. Vol. 17, No. 3. R. 358–360. DOI: 21273/HORTSCI.17.3.358
- Environmental pollution from farm animal waste, Tadqiqotlar. 2024. T. 30, No. 1. P. 182–187.
- Gadd G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment, Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology. 2009. Vol. 84, No. 1. P. 13–28. DOI: 10.1002/jctb.1999
- Goshin M. E. Budarina O. V. Ingel' F. I. Odors in ambient air: an analysis of the relationship with health status and quality of life of the adult population of a city with a developed food industry, Gigiena i sanitariya. 2020. No. 99 (12). P. 1339. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345
- Grala R. K., Tyndall J. C., Mize C. W. Impact of field windbreaks on visual appearance of agricultural lands, Agroforestry systems. 2010. Vol. 80. P. 411–422. DOI: 10.1007/s10457-010-9335-6
- Hamilton D. W., Ogejo J. A. Strategies to control farmstead odors, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. 2017. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/bae/strategies-to-control-farmstead-odors-bae-2905.pdf> (data obrascheniya: 12.09.2024).
- Hanajima D., Kuroda K., Morishita K. et al. Key odor components responsible for the impact on olfactory sense during swine feces composting, Bioresource technology. 2010. Vol. 101, No. 7. R. 2306–2310. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.026
- Hernandez G., Trabue S., Sauer T., Pfeiffer R., Tyndall J. Odor mitigation with tree buffers: Swine production case study, Agriculture, ecosystems & environment. 2012. Vol. P. 154–163. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.002
- Ivanova S. V. Skovronskaya S. A. Goshin M. E. Budarina O. V. Kulikova A. Z. The influence of odor on physiological, emotional and cognitive aspects of human health in experimental conditions (literature review), Gigiena i sanitariya. 2020. No. 99 (12). P. 1370. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1370-1375
- Jacobson L. D., Guo H., Schmidt D. R., Nicolai R. E. Influence of weather condition on field evaluation of odor dispersions from animal production sites, Livestock environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium. Louisville, Kentucky, USA, 2001. R. 679–686.
- Jayathilakan K., Sultana K., Radhakrishna K., Bawa A. S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review, Journal of food science and technology. 2012. Vol. 49, No. 3. P. 278–293. DOI: 10.1007/s13197-011-0290-7
- Kliebenstein J. B., Loromer J., Larson B. Odor Control Methods Used by Iowa Pork Producers. Iowa State University. Department of Economics, 2003. URL: https://www.researchgate.net/profile/James-Kliebenstein/publication/5130904_ODOR_CONTROL_METHODS_USED_BY_IOWA_PORK_PRODUCERS/links/0912f5123aba20e4e8000000/ODOR-CONTROL-METHODS-USED-BY-IOWA-PORK-PRODUCERS.pdf (data obrascheniya: 12.09.2024).
- Kolevatyh E. P. Pilip L. V. Syrchnina N. V. Transformation of the microbiota of animal waste under the influence of chemical reagents for odor elimination, Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2022. No. 4. P. 159–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165
- Kostic B., Stevanovic G., Lutovac M., Lutovac B., Ketic S., Biocanin R. Animal manure and environment, Fresenius Environmental Bulletin. 2020. Vol. 29, No. 3. P. 1289–1296.
- Kulik K. N. Protective Forest plantations are the basis of the ecological framework of agricultural territories, Vestnik Rossiyskoy sel'skohozyaystvennoy nauki. 2018. No. 4. P. 18–21.
- Kulshreshtha S., Kort J. External economic benefits and social goods from prairie shelterbelts, Agroforestry Systems. 2009. Vol. 75, No. 1. R. 39–47. DOI: 10.1007/s10457-008-9126-5
- Lin X. J., Barrington S., Gong G., Choiniere D. Simulation of odour dispersion downwind from natural windbreaks using the computational fluid dynamics standard k- ϵ model, Canadian Journal of Civil Engineering. 2009. Vol. 36, No. 5. P. 895–910. DOI: 10.1139/S08-057
- Lin X. J., Barrington S., Nicell J. A., Choiniere D. Livestock Odour Dispersion as Affected by Natural Windbreaks, Water Air and Soil Pollution. 2007. Vol. 182, No. 1. P. 263–273. DOI: 10.1007/s11270-007-9337-9
- Lin X. J., Barrington S., Nicell J., Choiniere D., Vezina A. Influence of windbreaks on livestock odour

- dispersion plume in the field, *Agriculture, ecosystems & environment*. 2006. Vol. 116 (3). No. 34. P. 263–272. DOI: 10.1016/j.agee.2006.02.014
- Liu L., Guan D., Peart M. R. The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China, *Environmental Science and Pollution Research*. 2012. Vol. 19. R. 3440–3449.
- Liu Q., Bundy D. S., Hoff S. J. The effectiveness of using tall barriers to reduce odor emission, *Proceedings of the International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations*, Midwest Plan Service, Ames, Ia., 1996. R. 403–407.
- Liu Z., Powers W., Mukhtar S. A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities, *Applied Engineering in Agriculture*. 2014. Vol. 30, No. 3. R. 477–492.
- Makarova N. M. Forest melioration of farmland areas and sanitary indicators of atmospheric air, *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2016. No. 4 (94). P. 191–195.
- Marszałek M., Kowalski Z., Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry-effect on the environment and methods of its reduction, *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2018. Vol. 25, No. 3. R. 383–394.
- Matyssek R., Reich P., Oren R., Winner W. E. Response mechanisms of conifers to air pollutants, *Ecophysiology of coniferous forests*. Academic Press. 1995. R. 255–308. DOI: 10.1016/B978-0-08-092593-6.50014-1
- Meena M., Sonigra P., Yadav G. Biological-based methods for the removal of volatile organic compounds (VOCs) and heavy metals, *Environmental science and pollution research*. 2021. Vol. 28, No. 3. P. 2485–2508.
- Mishurov N. P. Recommendations for the technological design of systems for the removal and preparation of manure and litter for use, *Tehnika i tehnologii v zhivotnovodstve*. 2018. No. 4 (32). P. 44–56.
- Mize C. W., Brandle J. R., Schoeneberger M. M., Bentrup G. Ecological development and function of shelterbelts in temperate North America, *Toward agroforestry design: An ecological approach*. 2008. P. 27–54.
- Mume I. D., Workalemahu S. Review on windbreaks agroforestry as a climate smart agriculture practices, *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 9, No. 6. P. 342–347. DOI: 10.11648/j.ajaf.20210906.12
- National Pork Producers Council An executive summary: a review of literature on nature and control of odors from pork production facilities: a report prepared by Bioresource Engineering Department Oregon State University for the subcommittee of the National Pork Producers Council. 1995. URL: <http://www.mtcnet.net/~jdhogg/ozone/odor/odorlitreview.html> (data obrascheniya: 05.02.2025).
- Ni J. Q., Robarge W. P., Xiao C., Heber A. J. Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review, *Chemosphere*. 2012. Vol. 89, No. 7. R. 769–788.
- Nowak D. J. The effects of urban trees on air quality, *USDA forest service*. 2002. P. 96–102.
- Parada-Ulloa M., Bozo Marambio, Moreno-Leiva G., Vasquez-Burgos K. Social representations of odors: case study in the Ñuble region, Chile (2019–2023), *Frontiers in Social Psychology*. 2024. Vol. 2. Article 1396536. DOI: 10.3389/frsp.2024.1396536
- Park M. K., Hwang T. K., Kim W., Jo Y. J., Park Y. J. Probiotic feed additives mitigate odor emission in cattle farms through microbial community changes, *Fermentation*. 2024. Vol. 10, No. 9. Article No. 473.
- Patterson P. H., Adrizal A. Management strategies to reduce air emissions: emphasis—dust and ammonia, *Journal of Applied Poultry Research*. 2005. Vol. 14, No. 3. R. 638–650.
- Piccardo M. T., Geretto M., Pulliero A., Izzotti A. Odor emissions: A public health concern for health risk perception, *Environmental Research*. 2022. Vol. 204 (2). Article No. 112121. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112121
- Pilip L. V. Ashihmina T. Ya. Waste from pig farms – problems and solutions, *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnyh i prirodno-tehnogennyh sistem: Materialy HV Vserop. nauchno-prakt. konf. c mezhdunar. uchastiem. Kniga 2. Kirov: Vyatskiy gosudarstvenny universitet*, 2017. P. 180–183.
- Pilip L. V. Syrchnina N. V. New approaches to deodorization of pig manure, *Ippologiya i veterinariya*. 2018. No. 4 (30). P. 99–106.
- Pilip L. V. Syrchnina N. V. The role of ammonifiers in ammonia emissions from pig manure effluents, *Izvestiya KGTU*. 2023. No. 68. P. 46–54. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54
- Pilip L. V. Analysis of environmental risks in the pig farming industry in the Kirov region, *Vestnik Vyatskoy GSHA*. 2020. No. 1 (3). P. 1.
- Radhapriya, Navaneetha Gopalakrishnan A., Malini P., Ramachandran A. Assessment of air pollution tolerance levels of selected plants around cement industry, Coimbatore, India, *Journal of Environmental Biology*. 2012. Vol. 33 (3). R. 635–641.
- Semenyutina A. V. Tereshkin A. V. Protective forest plantations: analysis of species composition and scientific basis for increasing the biodiversity of dendroflora, *Uspehi sovremennoogo estestvoznaniya*. 2016. No. 4. P. 99–104.

- Sharma B., Sharma S., Bhardwaj S. K. Plant-pollutant interactions with a special mention of dust accumulation by plants-A Review, *Nature Environment & Pollution Technology*. 2017. Vol. 16, No. 2. R. 375–384.
- Shi Z., Xi L., Zhao X. Measurement of ammonia and hydrogen sulfide emission from three typical dairy barns and estimation of total ammonia emission for the chinese dairy industry, *Animals*. 2023. Vol. 13, No. 14. Article No. 2301. DOI: 10.3390/ani13142301
- Suzelle B., Jun L. X., Denis C. Simulating odour dispersion about natural windbreaks, *Comput. Fluid Dyn. Technol. Appl.* 2011. Vol. 181. P. 182–215. DOI: 10.5772/19084
- Syrchina N. V. Pilip L. V. Ashihmina T. Ya. Basic approaches to reducing odor pollution of the environment by livestock farms (review), *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2024. No. 3. P. 6–19. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019
- Syrchina N. V. Pilip L. V. The effect of acidification on the sulfide hydrogen emissions in the organic waste of pig farms, *Problemy regional'noy ekologii*. 2021. No. 4. P. 102–106. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106
- Syrchina N.V. Pilip L. V. Kolevatyh E. P. The effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents, *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2023. No. 1. P. 107–116. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116
- Terent'ev Yu. N. Syrchnina N. V. Ashihmina T. Ya. Pilip L. V. Reducing the emission of odor-forming substances in industrial pig farms, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2019. No. 2. P. 113–120. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
- Torshizi M. R., Miri A., Shahriari A., Dong Z., Davidson-Arnott R. The effectiveness of a multi-row *Tamarix* windbreak in reducing aeolian erosion and sediment flux, Niatak area, Iran, *Journal of environmental management*. 2020. Vol. 265. Article No. 110486. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110486
- Tyndall J. C., Larsen G. L. Drake Vegetative environmental buffers for odor mitigation, *Pork Information Gateway*. 2013. URL: <https://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/vegetative-environmental-buffers-for-odor-mitigationpdf> (data obrascheniya: 05.02.2025).
- Tyndall J. C., Randell J., VanDyk J. VEB-econ: An outreach tool for designing vegetative environmental buffers, *Journal of Extension*. Vol. 56, No. 7. R. 45–65. DOI: 10.34068/joe.56.07.06
- Tyndall J., Colletti J. Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: a review, *Agroforestry system*. 2007. Vol. 69, No. 1. R. 45–65. DOI: 10.1007/s10457-006-9017-6
- Ucar T., Hall F. R. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review, *Pest Manage Science*. 2001. Vol. 57 (8). R. 663–675. DOI: 10.1002/ps.341
- Vtoryy V. F. Vtoryy S. V. Bazykin V. I. The results of studies of concentrations of climatically active gases in a barn with a loose content, *AgroEkonzheneriya*. 2022. No. 4 (113). P. 114–120. DOI: 24412/2713-2641-2022-4113-114-120
- Wang H., Takle E., Shen J. Shelterbelts and windbreaks: Mathematical modeling and computer simulation of turbulent flows, *Annual Review of Fluid Mechanics*. 2001. No. 33 (1). R. 549–586. DOI: 10.1146/annurev.fluid.33.1.549
- Weninger T., Scheper S., Lackóová L., Kitzler B., Gartner K., King N. W., Cornelis W., Strauss P., Michel K. Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review, *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16, No. 10. Article No. 103002. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1d0d
- Woodbury B. L. Emission of volatile organic compounds from land-applied beef cattle manure as affected by application method, diet, and soil water condition, *Journal of the ASABE*. 2022. No. 65 (1). R. 123–133. DOI: 10.13031/ja.14587
- Zhou X., Brandle J., Mize C., Takle E. Three-dimensional aerodynamic structure of a tree shelterbelt: definition, characterization and working models, *Agroforestry Systems*. 2005. No. 63 (2). R. 133–147. DOI: 10.1007/s10457-004-3147-5