



Исследования
природных ресурсов и
биоэкономики
62/2020

Переработка навоза, как путь к более эффективному повторному использованию питательных веществ

Отчет платформы SuMaNu

Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi,
Kari Ylivainio, Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem and Erik Sindhöj

Исследования природных ресурсов и биоэкономики 62/2020

Manure processing as a pathway to enhanced nutrient recycling Переработка навоза как путь к более эффективному повторному использованию питательных веществ

Отчет платформы SuMaNu

Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi, Kari Ylivainio,
Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem and Erik Sindhöj

Институт природных ресурсов Финляндия, Хельсинки 2020



SuMaNu



EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND

EUROPEAN UNION



Инструкция, как обращаться к этому отчету:

Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Sarvi, M., Ylivainio, K., Riiko, K., Kuka, K., Bloem, E. and Sindhöj, E. 2020. Переработка навоза как путь к более эффективному повторному использованию питательных веществ: отчет платформы SuMaNu. Исследования природных ресурсов и биоэкономики 62/2020. Институт природных ресурсов Финляндии, Хельсинки. 76 с.



ISBN 978-952-380-036-6 (Print)

ISBN 978-952-380-037-3 (Online)

ISSN 2342-7647 (Print)

ISSN 2342-7639 (Online)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-037-3>

Авторское право: Институт природных ресурсов Финляндии (Luke)

Авторы: Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi, Kari Ylivainio, Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem & Erik Sindhöj

Издатель: Институт природных ресурсов Финляндии (Luke), Хельсинки 2020 Год издания: 2020

Фото на обложке: Sari Luostarinen

Типография и издательские продажи: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Введение

Этот отчет является частью проекта платформы Interreg Region Morza Bałtyckiego SuMaNu (Сбалансированное управление удобрениями и питательными веществами для сокращения потерь питательных веществ в регионе Балтийского моря; www.balticsumanu.eu). Проект направлен на формулирование и продвижение рекомендаций по более рациональным методам использования навоза и питательных веществ в сельском хозяйстве, тем самым снижая нагрузку сельскохозяйственных питательных веществ на Балтийское море. Рекомендации нацелены на широкий круг целевых групп, от фермеров до политиков.

SuMaNu пропагандирует ценность навоза как источника питательных веществ и органических веществ для растениеводства, подчеркивая при этом, что удобрения и использование навоза должны быть оптимизированы для снижения потерь питательных веществ в воздух и воду. Повышение эффективности использования питательных веществ в навозе снизит потребность в минеральных удобрениях и увеличит связывание углерода в почве.

Рабочий пакет 2 (под руководством RISE) синтезировал знания об устойчивых практиках управления питательными веществами удобрений на уровне фермерского хозяйства и региона из проектов, в рамках которых создана платформа SuMaNu. Эти проекты включают недавние проекты по подкислению жидкого навоза в Балтийском регионе, Стандарты навоза, GreenAgri и BONUS PROMISE, а также предыдущие проекты, финансируемые Interreg Baltic Sea Region (Baltic Manure, Baltic Deal, Baltic Compass, Baltic Compact). В рамках WP2 также проанализирована переработка навоза, как способ улучшения рециркуляции питательных веществ в регионе Балтийского моря.

Навоз можно превратить в переработанные удобрения с помощью различных технологий. В зависимости от используемой технологии одновременно может производиться и возобновляемая энергия. Целью может быть увеличение потребления питательных веществ на уровне фермы или перераспределение питательных веществ по регионам из излишков в регионы с дефицитом. Это также определяет уровень переработки: более простые технологии применяются в масштабах фермы, в то время как на крупных перерабатывающих предприятиях технологические цепочки могут охватывать несколько этапов переработки и производить много различных продуктов. В отчете обсуждаются потребности, текущее состояние знаний и потенциал переработки навоза, включая описание доступных в настоящее время технологий.

Июнь 2020,

*Минна Сарви, Координатор
Институт природных ресурсов Финляндии (Люк)*

Резюме

Sari Luostarinen¹, Elina Tampio¹, Johanna Laakso¹, Minna Sarvi¹, Kari Ylivainio¹, Kaisa Riiko², Katrin Kuka³, Elke Bloem³ and Erik Sindhöj⁴

¹ Институт природных ресурсов Финляндии (Luke)

² Комиссия по защите морской среды Балтийского моря (HELCOM)

³ Институт Юлиуса Кюна (JKI)

⁴ Исследовательские институты Швеции (RISE)

Хозяйство замкнутого цикла становится все более желаемым во всем мире, чтобы свести к минимуму потребность в невозобновляемых источниках сырья и энергии. Необходимость введения новых питательных веществ для удовлетворения текущих потребностей в минеральных ресурсах может быть значительно уменьшена за счет повторного использования питательных веществ. Это означает извлечение питательных веществ из различных богатых питательными веществами побочных потоков и их повторное использование различными способами, наиболее важным из которых является производство продуктов питания. Питательные вещества, особенно фосфор (P) и азот (N), необходимы для роста растений. Для производства удобрений требуются большие количества. Однако на момент написания этой статьи питательные вещества не перерабатывались эффективно, и значительная их часть терялась в виде окончательного удаления и выбросов.

Переработанные питательные вещества попадают в различные побочные потоки сельского хозяйства, муниципалитетов и промышленности. Наиболее важным перерабатываемым материалом является навоз, который традиционно используется в качестве удобрения. Однако из-за разделения продукции растениеводства и животноводства навоз часто уплотняется по регионам, так что его питательные вещества могут быть в изобилии по сравнению с потребностями региона. Это может привести к чрезмерному использованию навоза в регионах с концентрированным животноводством, в то время как в регионах растениеводства приходится полагаться на минеральные удобрения. И то и то имеет негативные экологические последствия.

Следовательно, необходимы региональные решения по перераспределению навоза за счет улучшения вариантов транспортировки навоза для переноса питательных веществ в районы с дефицитом питательных веществ. Чтобы обеспечить такую транспортировку на большие расстояния и отделить друг от друга P и N, улучшая, таким образом, их повторное использование, может применяться переработка навоза.

Навоз можно перерабатывать с помощью разных технологий, получая разные конечные продукты. Обычно целью обработки является уменьшение веса навоза и концентрация питательных веществ для улучшения их транспортабельности. Важной целью является также производство удобрений, которые заменяют минеральные удобрения и обеспечивают снижение выбросов в окружающую среду. Доступно несколько технологий переработки, другие технологии находятся в стадии разработки. На момент написания статьи переработка навоза все еще ограничена, в основном из-за проблем с экономической эффективностью. Инвестиции в крупномасштабную переработку навоза в соответствии с требованиями регионального перераспределения питательных веществ значительны, и рынок новых удобрений на основе навоза только начинает развиваться. Также по-прежнему существует потребность в разработке методов хранения и распространения продуктов.

В этом отчете описываются примеры регионов, нуждающихся в перераспределении

питательных веществ посредством переработки навоза для региона Балтийского моря, а также обсуждаются потенциал и проблемы переработки навоза как одного из решений по сокращению выбросов биогенных веществ. Также представлены краткие сведения об имеющихся технологиях переработки и их конечных продуктах в виде удобрений.

Ключевые понятия: замкнутое хозяйство, удобрения, навоз, переработка питательных веществ, обработка.

Tiivistelmä

Kiertotalouden käyttöönottoa vaaditaan enenevästi ympäri maailmaa uusiutumattomien materiaali- en ja energian käytön vähentämiseksi. Mineraalisten ravinteiden tarvetta ja käyttöä voitaisiin vähentää ravinteita kierrättämällä. Tämä tarkoittaisi ravinteiden talteenottoa erilaisista ravinnepitoisista sivuvirroista ja muodostuvien ravinnetuotteiden käyttöä erilaisissa toimissa, suurimpana käyttäjänä ruuantuotanto. Ravinteet, etenkin fosfori ja typpi, ovat välttämättömiä kasvien kasvulle, ja lannoit- teina tarvittujen ravinteiden määrät ovat suuret. Siitä huolimatta tätä kirjoitettaessa ravinteet eivät kierrä tehokkaasti, vaan merkittävä osuus niistä päättyy hävikkinä loppusijoitukseen tai päästöinä ympäristöön.

Kierrätettävissä olevia ravinteita on erilaisissa maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden sivuvirrois- sa. Merkittävin kierrätettävä materiaali on kotieläintuotannon lanta, jota perinteisesti jo hyödynne- tään lannoitteena. Kasvin- ja kotieläintuotannon eriytymisen vuoksi lanta kuitenkin keskittyy monin paikoin alueellisesti siten, että sitä on liikaa saman tuotantoalueen ravinnetarpeeseen nähden. Tämä voi johtaa liialliseen lantaravinteiden levitykseen kotieläintuotannon alueella, kun samalla kasvintuo- tannon alueilla joudutaan käyttämään mineraalilannoitteita. Molemmilla on negatiivisia ympäristö- vaikutuksia.

Näin ollen ratkaisua lannan alueelliseen uusjakoon tarvitaan parantamalla lannan kuljetettavuutta ja siten siirtoa ylijäämäalueilta ravinteita tarvitseville alueille. Pitkänkin kuljettamisen mahdollistami- seksi sekä lannan fosforin ja typen erotteliseksi ja niiden käytön tehostamiseksi lantaa voidaan prosessoida.

Lannan prosessointiin on erilaisia teknologioita, jotka tuottavat monenlaisia lopputuotteita. Proses- soinnin tavoite on yleensä lannan massan vähentäminen ja ravinteiden väkeväminen kuljetettavuus- den parantamiseksi. Tärkeä tavoite on tuottaa käyttökelpoisia kierrätyslannoitevalmisteita, joilla voidaan korvata mineraalilannoitteita ja vähentää ruuantuotannon päästöjä ympäristöön. Monenlai- sia prosessointiteknologioita on tarjolla ja lisää kehitetään.

Tätä kirjoitettaessa lannan prosessointi on varsin vähäistä pääasiassa sen heikon kannattavuuden vuoksi. Investointikustannus lannan suuren mittakaavan prosessointiin on merkittävä, ja markkinat kierrätyslannoitevalmisteille vasta alkamassa kehittyä. Myös valmisteiden varastoinnin ja levityksen ratkaisuja on vielä kehitettävä.

Tässä raportissa kerrotaan esimerkkejä Itämeren maiden alueista, joilla lannan alueellista uusjakoa tarvitaan ja joilla lannan prosessoinnista voitaisiin hyötyä. Lisäksi arvioidaan lannan prosessoinnin mahdollisuuksia ja haasteita ravinteiden kierrätyksen ratkaisemisessa. Raportti sisältää myös tiivis- telmiä tarjolla olevista prosessointiteknologioista ja kuvaa niistä muodostuvia kierrätyslannoiteval- misteita laatuineen ja käyttömahdollisuuksineen.

Содержание

1. Введение	8
2. Переработка навоза для перераспределения питательных веществ.....	10
2.1. Примеры региональной доступности и спроса на питательные вещества в РБМ	11
2.1.1. Финляндия	11
2.1.2. Швеция	14
2.1.3. Германия	16
2.1.4. Польша	18
3. Обзор переработки навоза	21
3.1. Мотивация к переработке навоза	21
3.2. Экономика переработки навоза	24
4. Технология переработки и получаемые удобрения	26
4.1. Механическое разделение	25
4.2. Подкисление жидкого навоза	30
4.3. Компостирование	32
4.4. Анаэробная ферментация	37
4.5. Технологии для твердого навоза	44
4.5.1. Термическая сушка	44
4.5.2. Пеллетирование /гранулирование	48
4.5.3. Пиролиз	51
4.5.4. Гидротермальная карбонизация (НТС)	55
4.5.5. Горение/Сжигание	58
4.5.6. Газификация	61
4.6. Технология восстановления питательных веществ из жидких фракций	63
4.6.1. Стриппирование аммиака	63
4.6.2. Мембранное разделение	66
4.6.3. Осаждение струвита	70
4.6.4. Вакуумное выпаривание	73
4.7. Технологические цепочки переработки навоза	76
4.8. Краткое изложение технологий переработки навоза и их конечных продуктов	78
5. Как контролировать потенциальные риски, связанные с гигиеной и загрязнителями ..	85
5.1. Микроэлементы	85
5.2. Органические загрязнители	85
5.3. Гигиена	87
6. Выводы	89

1. Введение

Хозяйства замкнутого цикла становятся все более желательными во всем мире, чтобы свести к минимуму потребность в невозобновляемых источниках сырья и энергии. Европейский Союз запустил План действий по экономике замкнутого цикла в 2015 году (COM / 2015/0614 финал, актуализация COM / 2020/98 финал), и работа по улучшению повторного использования материалов усилилась. В последние годы инструменты финансирования ЕС поддерживали исследования и инновации, направленные на улучшение действий в замкнутом цикле, и возникает одна важная проблема, которая возникает при переработке питательных веществ.

Питательные вещества, особенно фосфор (P) и азот (N), необходимы для производства продуктов питания и используются в качестве удобрений для выращивания сельскохозяйственных культур. Требуемые количества большие. Общие внешние поступления азота в пахотные земли и животноводческую / агропродовольственную систему ЕС составляли около 17 млн тонн в год в 2004 году и включали минеральные удобрения (11 млн тонн), импортные корма (2,7 млн тонн) и другие источники, такие как атмосферные осадки и N - фиксация (Лейп и др., 2014). Общий приток фосфора извне составил 1,8 млн тонн, состоящих из минеральных удобрений (1,4 млн тонн) и импортных кормов (0,4 млн тонн; van Dijk et al. 2016).

Однако, по оценкам, из общего потока питательных веществ в ЕС только 20% азота достигает потребителей в виде пищевых продуктов, в то время как 80% попадает в различные отходы и побочные потоки или теряется в окружающей среде (Leip et al. 2014). Соответствующие количества фосфора оцениваются в 30% и 70% (van Dijk et al., 2016), в то время как значительная доля неиспользованного фосфора связана с полевой почвой, увеличивая запас фосфора в почве. В растениеводстве ЕС эффективность использования питательных веществ, то есть количество добавленных питательных веществ, которые попадают в растения, оценивается примерно в 50% для азота и 70% для фосфора. В животноводстве эффективность использования питательных веществ намного ниже: около 18% и 29%, соответственно, приходится на животных или продукты животного происхождения (Leip et al., 2014, van Dijk et al., 2016), в то время как остальные в основном остаются в навозе животных.

В ЕС и многих других регионах мира животноводство и растениеводство были разделены из-за необходимости повышения эффективности и прибыльности производства за счет специализации на конкретных продуктах. В частности, животноводство все больше концентрируется в определенных областях или регионах в большинстве стран. Примером может служить регион Балтийского моря (РБМ), где есть районы с высокой популяцией животных и последующими проблемами сбалансированного внесения удобрений навоза, несмотря на ограничения в плотности поголовья скота из-за наличия сельскохозяйственных земель для разбрасывания навоза.

Многие регионы с интенсивным животноводством постоянно импортируют больше питательных веществ в корма и удобрения, чем экспортируют в виде продуктов. Избыток питательных веществ в основном содержится в навозе. Поскольку соотношение N: P в навозе ниже оптимального для большинства культур, удобрение навозом может привести к чрезмерному удобрению фосфором из-за максимального использования, содержащегося в нем азота. Большая часть избыточного азота попадает в окружающую среду в результате газовых выбросов и выщелачивания и не накапливается в полевых почвах. Однако избыток фосфора связывается с частицами почвы и со временем накапливается, увеличивая запас фосфора в почве и снижая потребность в фосфорных удобрениях. Следовательно, непрерывное разбрасывание навоза увеличивает риск потерь фосфора в водные пути. С другой стороны, в то же

время в регионах, специализирующихся на растениеводстве, ресурсы фосфора часто низкие или даже уменьшаются, и для обеспечения необходимого количества фосфора используются минеральные удобрения.

Эти региональные различия между площадями с избытком питательных веществ (навоз) и другими районами, которые должны импортировать минеральные удобрения, лежат в основе идеи рециклинга питательных веществ, то есть поиска замкнутых решений для сбалансированного устойчивого управления питательными веществами в региональном масштабе. Более эффективное использование излишков питательных веществ для сбалансирования потребности в минеральных удобрениях может снизить негативное воздействие избыточных питательных веществ на окружающую среду. В то же время это может сэкономить ограниченные ресурсы фосфора, снизить потребность в ископаемом топливе при производстве азотных удобрений и повысить самообеспеченность региона питательными веществами. Из всех органических побочных потоков в обществе, навоз, по-видимому, обладает наибольшим потенциалом для рециклинга питательных веществ (Таблица 1).

Таблица 1.

Потенциал рециркуляции питательных веществ в ЕС, общее количество и среднее количество в год на сельскохозяйственных землях в ЕС при равномерном распределении (Eurostat 2016, Leip et al. 2014, Velthof et al. 2015, van Dijk et al. 2016, Sutton et al. 2011, Buckwell & Nadau, 2016). Для сравнения годовое потребление минеральных удобрений (Евростат, 2016).

	N общий МгТ	N средний кг/га/а	P общий МгТ	P средний кг/га/а
Навоз	7–9	41–52	1.8	10.5
Биологические отходы	0.5–0.7	2.9–4.1	0.1	0.6
Отходы скотобойни	ND	ND	0.3	1.7
Сточные воды	2.3–3.1	13.3–18.0	0.3	1.7
Минеральные удобрения	10.9	63	1.4	8.1

НД = нет даты

Ссылки

- Buckwell, A. & Nadau, E. 2016. Восстановление и повторное использование питательных веществ (NRR) в европейском сельском хозяйстве. Обзор проблем, возможностей и действий. Фонд "Возрождение" van Dijk K., Lesschen, J.P. & Oenema, O. 2016. Потоки и балансы фосфора в странах Европейского Союза. Наука об окружающей среде в целом 542: 1078–93. Eurostat 2016.
- Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J.P. & Westhoek, H. 2014. Азотный след пищевых продуктов в Европейском Союзе. Журнал сельскохозяйственных наук 152 S1: 20–33.
- Sutton, M., Howard, C., Erisman, J., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. & Grizzetti, B., 2011. Европейская оценка азота - источники, эффекты и перспективы политики. Издательство Кембриджского университета.
- Velthof, G.L., Hou, Y. & Oenema, O. 2015. Факторы экскреции азота домашним скотом в Европейском Союзе: обзор: Факторы экскреции азота домашним скотом в ЕС. Журнал о продовольствии и сельскохозяйственной науке 95: 3004–3014.

2. Переработка навоза для перераспределения питательных веществ из навоза

Региональная концентрация животноводства привела к ситуации, когда питательные вещества не используются в соответствии с требованиями сельскохозяйственных культур. Региональный дисбаланс питательных веществ еще больше усугубляется импортом кормов из регионов растениеводства, что приводит к концентрации питательных веществ в регионах животноводства. Хотя использование удобрений на животноводческих фермах, производящих навоз, остается нынешней практикой, его также следует развивать на возделываемых фермах и в регионах, специализирующихся на растениеводстве. Это уже позволило бы частично перераспределить ценные питательные вещества из навоза на поля и районы, которые в настоящее время больше зависят от минеральных удобрений. В то же время органическое вещество навоза может быть возвращено в более широкий спектр почв, помогая поддерживать более высокое содержание органического вещества.

Однако более эффективное региональное перераспределение питательных веществ навоза невозможно при использовании сырого навоза. В настоящее время навоз обычно используется на животноводческой ферме или в непосредственной близости от нее, поскольку транспортировка навоза обходится дорого; низкое содержание питательных веществ в навозе на тонну часто превышает питательную ценность. Более того, в зависимости от лимитов удобрения, предпочтительнее фосфор или азот, что делает использование последнего неэффективным: с фосфором в качестве ограничивающего питательного вещества используется слишком мало азота по сравнению с потребностями культуры, в то время как азот слишком сильно ограничивает подачу фосфора.

Следовательно, чтобы обеспечить эффективное региональное перераспределение питательных веществ с более рентабельной транспортировкой удобрений и более эффективным использованием ценных питательных веществ, возникает необходимость преобразовывать навоз в более концентрированные удобрения, которые можно транспортировать. Эффективность еще выше, если фосфор и азот одновременно разделяются на разные удобрения. Доступны различные технологии переработки и технологические цепочки, которые можно выбрать в зависимости от конкретных потребностей.

В этом разделе приведены примеры регионов, где навоз перегружен питательными веществами и где компоненты навоза необходимо перераспределить для региона Балтийского моря, а технологии переработки и их предварительные условия представлены в следующих главах.

2.1. Примеры региональной доступности и спроса на питательные вещества в РБМ

2.1.1. Финляндия

Использование минеральных фосфорных удобрений в Финляндии значительно увеличилось после Второй мировой войны и достигло своего пика в 1975 году при среднем уровне потребления 34 кг / га (Ylivainio et al. 2014). С тех пор рекомендации, касающиеся норм внесения фосфорных удобрений, были снижены в соответствии с требованиями сельскохозяйственных культур, отчасти для решения проблемы эвтрофикации поверхностных вод из-за чрезмерного внесения удобрений. В настоящее время средний расход Р минеральных удобрений составляет около 5 кг / га. В прошлом из-за чрезмерного удобрения содержание фосфора в полевых почвах в Финляндии увеличивалось до уровня, при котором собственные запасы фосфора покрывают примерно половину поля (Ylivainio et al. 2014). Регионы с самым высоким содержанием фосфора в почве также являются регионами с наибольшим животноводством (рис. 1).

В отличие от внесения минеральных удобрений, количество фосфора в навозе остается постоянным (Ylivainio et al. 2014) и в настоящее время составляет около 7,6 кг / га, равномерно распределяясь по всем возделываемым полям (Luostarinen et al. 2020). Согласно последним оценкам (статистика животных и нормативная система навоза Финляндии, Луостаринен и др., 2017a, b), весь навоз, производимый в Финляндии (за пределами зданий), содержит около 17 200 тонн Р. Большая часть навоза происходит от крупного рогатого скота (9 200 тонн). за ними следуют пушные звери (2800 тонн), птица (2300 тонн) и свиньи (2200 тонн). Западное побережье Финляндии включает регионы с высокой плотностью поголовья крупного рогатого скота, свиней, домашней птицы и пушного зверя, юго-запад Финляндии с высокой плотностью производства свиней и птицы, а разведение крупного рогатого скота преобладает в восточной части Финляндии (Рисунок 1).

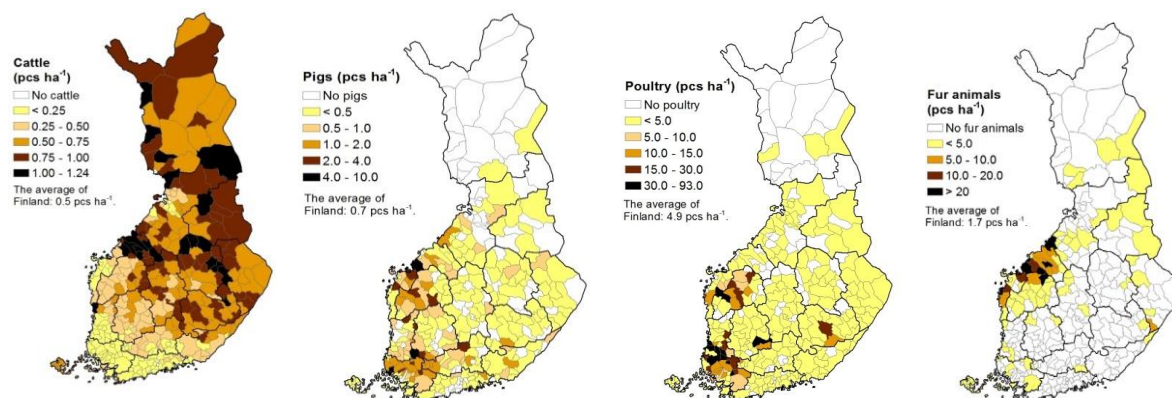


Рис.1. Размещение сельскохозяйственных животных в Финляндии (количество животных на гектар пахотной земли), что подчеркивает региональную концентрацию животноводства (Ylivainio et al. 2014). В Северной Финляндии очень мало пахотных земель, поэтому плотность скота кажется выше, чем на самом деле.

В соответствии с требованиями сельскохозяйственных культур (Валкама и др., 2011), средняя потребность в фосфорных удобрениях в Финляндии составляет около 8 кг / га с учетом Р-состояния почвы (рис. 2). Следовательно, Р-навоз, произведенный в Финляндии, мог бы почти удовлетворить все потребности в Р-культур в Финляндии, если бы его можно было транспортировать в регионы, где он необходим, например, из регионов с избытком Р в регионы с дефицитом Р (рис. 2). Однако из-за разделения продукции растениеводства и животноводства, особенно в западной Финляндии, избыток фосфора может достигать даже +194 кг / га на муниципальном уровне, в то время как в южной части Финляндии повсеместно отрицательное сальдо по фосфору, а минимальный показатель -15,4 кг / га (Ylivainio et al. 2014).

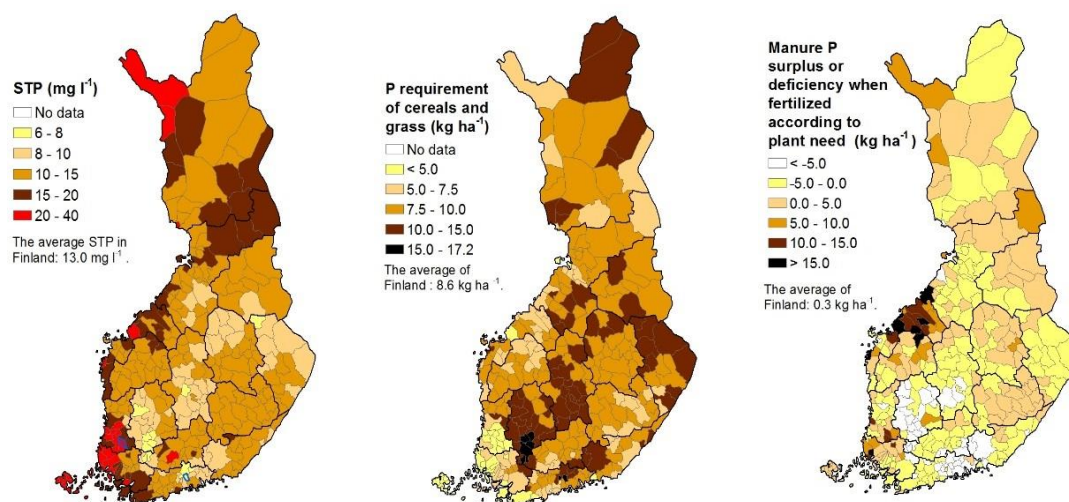


Рисунок 2. Содержание фосфора в почве (слева), потребность в фосфорных

удобрениях для зерновых и трав (в центре) и следующий из этого региональный избыток или дефицит фосфора в финских навозах (справа) (Ylivainio et al. 2014).

Состояние доступных для повторного использования питательных веществ оценивалось в сотрудничестве с Институтом природных ресурсов Финляндии Люка и Финским институтом окружающей среды SYKE. Проект Baltic Manure в Финляндии выявил потребность в более точных данных о навозе и разработал национальный инструмент расчета, названный Финской нормативной системой навоза (Luostarinen et al. 2017a). Система сейчас предоставляет данные о национальных и региональных количествах навоза и содержании питательных веществ для различных категорий животных и типов навоза (пример данных представлен на Рисунке 3). Позже те же организации разработали другой инструмент расчета для регионального планирования рециклинга питательных веществ («Калькулятор питательных веществ», Луостаринен и др., 2020). Инструмент рассчитывает количество и содержание питательных веществ в навозе и других биомассах, богатых питательными веществами (например, осадок городских сточных вод и биоотходы, промышленные и посторонние отходы, солома, биомасса травы) на национальном, региональном и муниципальном уровнях. Он также включает сценарии с различными вариантами переработки, рассчитывает необходимое удобрение (на основе текущего урожая, характеристик почвы и трех альтернативных лимитов удобрения) и сравнивает доступность полученных удобрений с потребностями в удобрениях. Таким образом, представленные выше данные можно отслеживать и обновлять, а сценарии на будущее могут быть полезны при принятии решений.

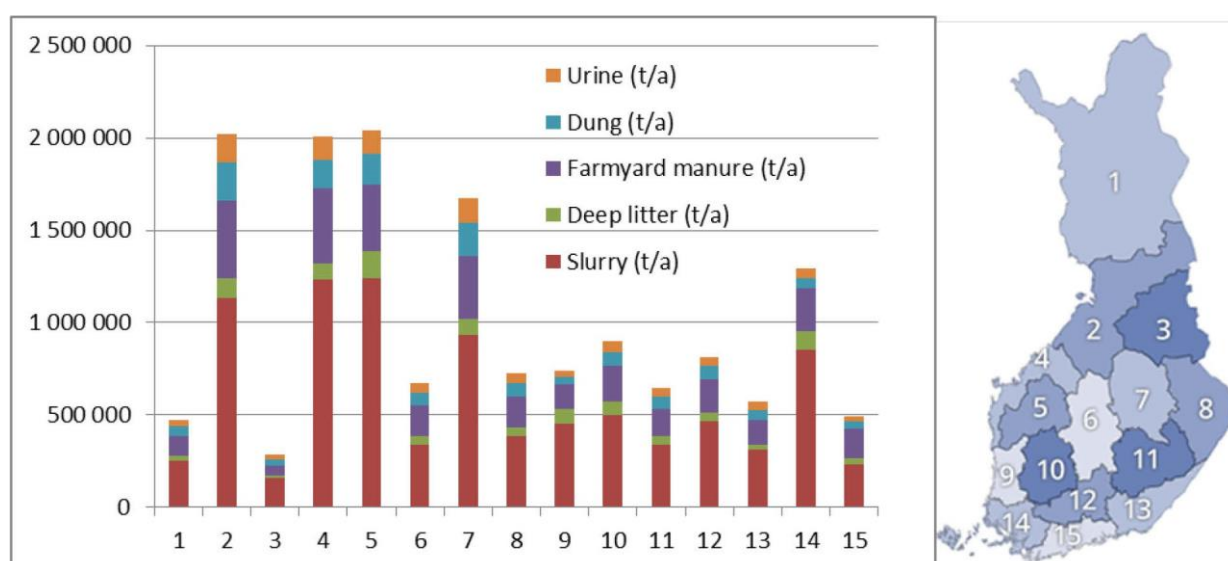


Рисунок 3. Количество навоза по типу навоза (со склада) по регионам в Финляндии

2.1.2. Швеция

С 2006 года Швеция пытается сократить избыток фосфора в животноводстве, регулируя плотность животных в зависимости от количества фосфора в навозе. Постановление ограничивает внесение фосфора из органических удобрений до 22 кг Р / га в качестве среднего пятилетнего показателя на общей площади, предназначенной для разбрасывания навоза. Это ограничивает количество навоза, производимого на ферме, устанавливает связь между животноводством и растениеводством и помогает распределить навоз по всем полям фермы, даже самым отдаленным. Распоряжение работает в соответствии с Директивой о нитратах, так что даже если содержание Р в навозе будет очень низким, внесение навоза не должно превышать 170 кг общего N / га в зонах, особенно подверженных воздействию нитратов. Однако, как правило, именно содержание фосфора в навозе ограничивает нормы внесения. Таким образом, данное Распоряжение ограничивает передозировку фосфора, которая в конечном итоге может привести к увеличению потерь от стока и выщелачивания.

В 2016 году в Швеции было 2,86 млн га сельскохозяйственных земель, включая постоянные пастбища. Простой баланс питательных веществ на этих сельскохозяйственных угодьях показал в целом хороший баланс между добавлением и удалением фосфора со средним показателем плюс-минус 12 кг Р / га в 2016, 2013 и 2011 годах, соответственно (SCB 2018). Ситуация значительно улучшилась с 1995 года, когда на балансе поля наблюдался средний избыток 5 кг Р / га. Баланс рассчитывался как разница между добавлением и удалением питательных веществ на полях. Добавки включали питательные вещества в минеральных удобрениях, навозе (включая навоз, внесенный на пастбище), семенах, воздушных отложениях, биологической фиксации, осадке сточных вод и других органических фиксаторах. Пополнения были валовыми, а потери (газовые или другие) не учитывались. Удаление питательных веществ, в том числе из сельскохозяйственных культур и пожнивных остатков.

Полевой баланс азота немного отличался от баланса Р. В случае азота на долю добавок приходилось около 119 кг N / га, а в 2016 году удаление составило всего 82 кг N / га. Это предполагает средний избыток азота в 37 единиц. кг N / га или всего 112 000 тонн, что составило потери от выбросов аммиака (35%) и закиси азота (22%), а также от выщелачивания нитратов (43%) (SCB 2018). Профицит в 2016 г. был на 12% выше, чем в предыдущие годы; однако, на 36% меньше, чем в 1995 году.

Несмотря на то, что баланс Р на национальном уровне выглядит неплохо, между восемью сельскохозяйственными производственными районами Швеции были обнаружены региональные различия (Рисунок 4). В региональном разрезе баланс Р / га колебался от -5 кг Р / га в регионе Южных равнин Гёталанда до почти +3 кг Р / га в Лесном районе Гёталанда. Баланс азота варьировал от +26 кг N / га в Норрланде до +43 кг N / га в регионе Южных равнин Гёталанда. Отрицательный баланс фосфора в наиболее продуктивных сельскохозяйственных районах Швеции указывает на то, что фосфор извлекается из почвы. Поддержание отрицательного уровня производства фосфора возможно в краткосрочной перспективе, возможно, из-за остатков избыточного удобрения в предыдущие годы, которые привели к накоплению фосфора в почве. Однако продолжение производства с дефицитом фосфора в долгосрочной перспективе не является устойчивым.

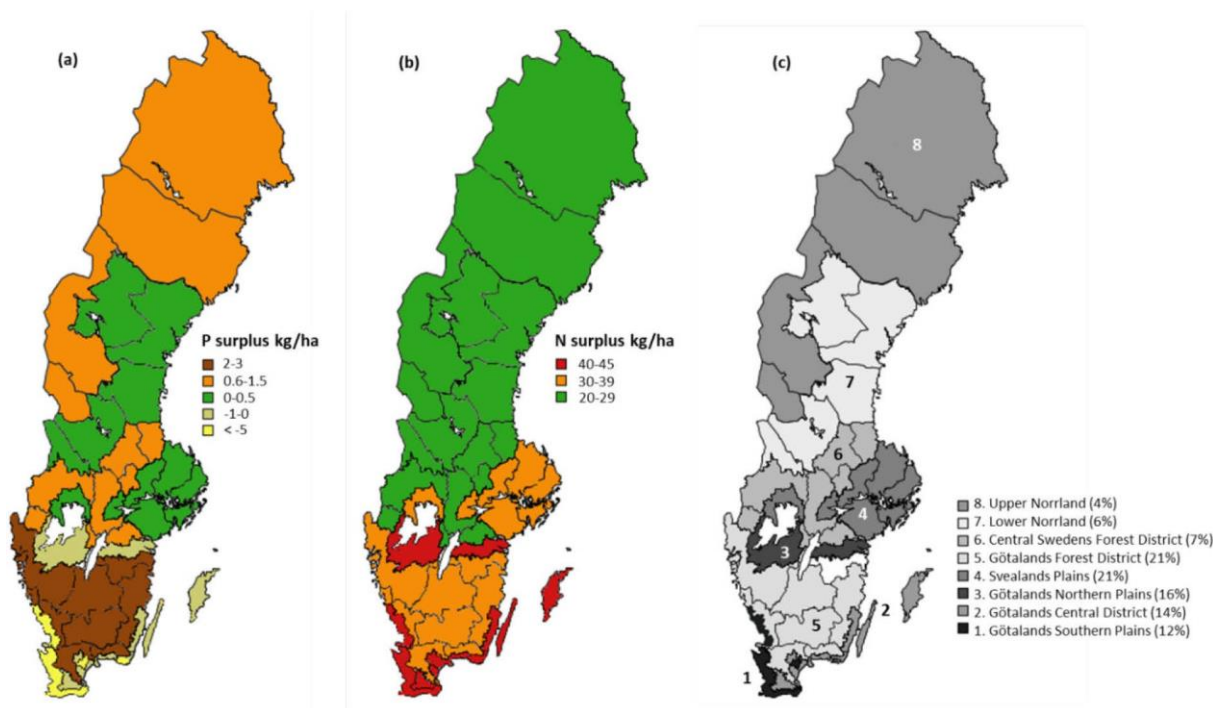


Рисунок 4. Балансы фосфора (а) и азота (б) на полях сельскохозяйственных земель в Швеции в 2016 году (данные SBC 2018). См. Текстовое описание расчетов баланса. Расчеты баланса питательных веществ были выполнены для 8 основных областей сельскохозяйственного производства в Швеции, представленных в (с). Процентные значения представляют собой долю от общей сельскохозяйственной площади для этой производственной площади в 2016 году.

Также наблюдались различия в балансе питательных веществ между животноводческими фермами в зависимости от плотности животных (SCB 2018), и кажется очевидным, что Р накапливается на животноводческих фермах с более высокой плотностью животных (Рисунок 5). Избыток азота также самый высокий на этих фермах. Учитывая, что почти половина всех дойных коров, свиноматок, других свиней и кур в Швеции содержится в хозяйствах с большими стадами, которые в среднем превышают 500 голов скота (Таблица 2), в региональных балансах питательных веществ, показанных на Рисунке 4, вероятно, отсутствует множество локальных «горячих точек» с более серьезными проблемами излишка питательных веществ.

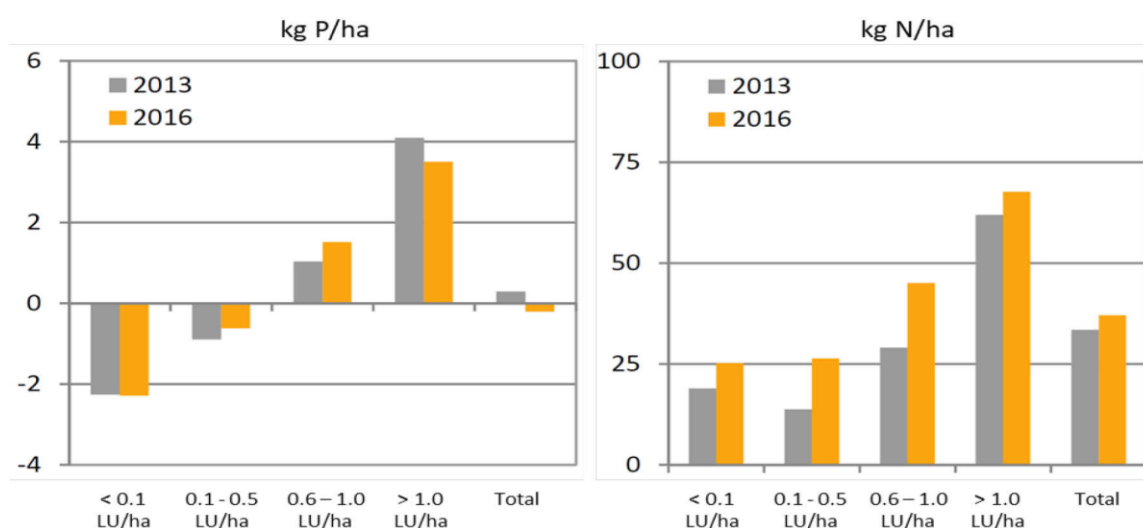


Рисунок 5. Баланс питательных веществ для сельскохозяйственных земель (пахотные земли и постоянные пастбища) в Швеции для ферм с разной плотностью поголовья (расчетная единица поголовья скота) в 2013 и 2016 годах (SCB 2018). Положительное сальдо - это профицит, а отрицательное сальдо - это дефицит.

Таблица 2. Общее количество единиц поголовья (LU) в Швеции для групп животных (SCB 2017). Коэффициенты пересчета LU составляют 0,5 для свиноматок, 0,3 для свиней и 0,014 для цыплят. Шведский совет по сельскому хозяйству признал > 200 дойных коров, > 500 свиноматок, > 2000 свиней и > 5000 кур как большие стада. Средний размер большого стада рассчитывался исходя из количества хозяйств в этой группе.

	LU	Количество в больших стадах (LU)	% всего в больших стадах	Средний размер крупного стада (LU)
Молочные коровы	330,833	90,322	27	330
Свиноматки	69,492	37,993	55	492
Свини	250,597	117,620	47	1032
Куры	136,488	111,799	82	545
Итого	787,410	357,734	45	534

2.1.3. Германия

В Германии около 50% фосфора, поступающего в поверхностные воды, поступает от сельского хозяйства (UBA 2017). Это одна из причин обеспечения высокой биогенной эффективности и минимизации потерь питательных веществ при выращивании растений для производства продуктов питания и кормов. Удобрение P следует определять на основе потребности растения в P. Это основано на урожайности и качестве, которые можно ожидать на соответствующем участке и условиях выращивания, а также на ресурсах фосфора, имеющихся в почве. Содержание фосфора в почве должно анализироваться в рамках севооборота, но не реже одного раза в шесть лет (DÜV § 4). На уровне хозяйств в среднем в течение шести лет допускается избыток в 10 кг P₂O₅ / га / год (4364 кг P / га / год). Если почва содержит > 20 мг P₂O₅ / 100 г почвы (> 8728 мг P₂O₅ / 100 г почвы) в CAL1, максимально допустимым удобрением является количество поглощенного P (DÜV § 3).

¹ CAL - Раствор хлорида кальция

В случае плохого состояния воды в результате внесения удобрения Р федеральные земли Германии могут ввести более строгие правила.

На рисунке 6 показана плотность поголовья скота в различных районах Германии (Häußermann et al., 2019). Самые высокие плотности, где существует риск избытка питательных веществ, находятся на северо-западе и юго-востоке Германии. Около немецкого побережья Балтийского моря плотность поголовья скота в Шлезвиг-Гольштейне (западная сторона) выше, чем в Мекленбург-Передняя Померания (восточная сторона).

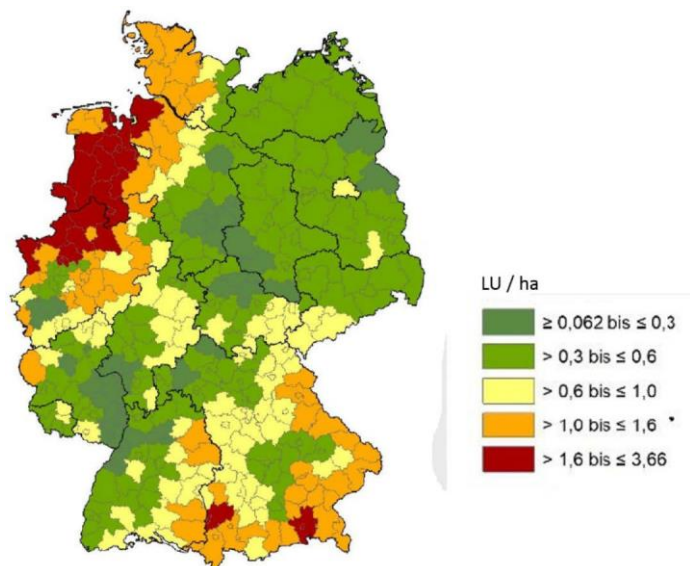


Рисунок 6. Плотность поголовья (LU / га) в разных районах Германии (Häußermann et al.2019, основа карты © Geo-Basis-DE / BKG 2018.)

На Рисунке 7 показан частичный баланс P_2O_5 в кг / га сельскохозяйственных земель (Osterburg and Tschen 2012, карта A 4.2, стр. 203). Количество фосфора, производимого животными (фекалии и моча, выделяемые домашним скотом), учитывалось в отношении поглощения фосфора из растительных продуктов. По расчетам имеются очень высокие избытки фосфора, особенно в регионах с высокой интенсивностью земледелия на северо-западе Нижней Саксонии и северо-западе Северного Рейна-Вестфалии. Другие регионы с высокими избытками фосфора, например, в восточной Германии, относительно невелики. Регионы с умеренным избытком фосфора из экскрементов животных можно найти по всей Германии. Однако во многих регионах количество фосфора из экскрементов животных ниже, чем абсорбция фосфора в растительных продуктах. Затем это привело к постепенному ухудшению содержания фосфора в почве в некоторых возделываемых регионах из-за пренебрежения фосфорными удобрениями (Wiesler et al., 2016). Решением могло бы стать более эффективное распределение навоза по всей Германии, и особенно транспортировка в районы сельскохозяйственных культур, которые недостаточно обеспечены.

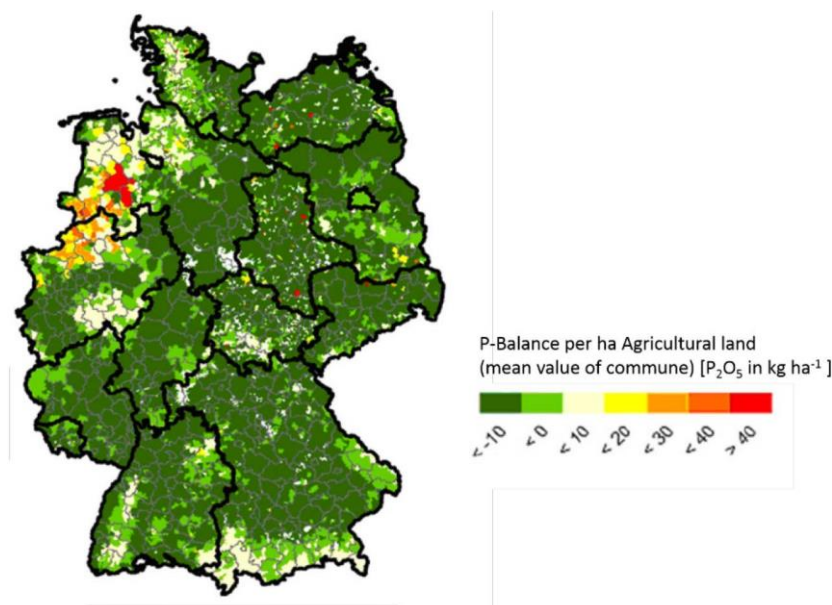


Рисунок 7. Частичный баланс P_2O_5 в кг / га сельскохозяйственных угодий (Osterburg & Tehen 2012, карта А 4.2, с. 203) 2.

2.1.4. Польша

Другой пример ситуации с неравномерным распределением фосфора из навоза - из Польши (представлен здесь на основе Kopinski & Jurga 2016). Общая цель Р-удобрения - добавить соответствующее (по сравнению с Р-тестом почвы) количество фосфора для получения экономичного урожая. Одним из инструментов, используемых для оценки правильности управления питательными веществами, является расчет валового баланса фосфора. Значительные излишки могут повысить плодородие почвы, но также создают риск потери воды. С другой стороны, постоянный отрицательный баланс фосфора может снизить плодородие почвы и указать на риск ограниченного производственного потенциала. Принимая во внимание это, и принимая во внимание ситуацию в Польше с состоянием фосфора в почве и доступным фосфором, оптимальный баланс фосфора для польских сельскохозяйственных земель оценивается не более чем в 2 кг Р / га. Средний расчет валового баланса Р на 2014 год показывает средний избыток 2,5 кг Р / га, что относительно близко к оптимальному предложенному значению.

Однако с региональной точки зрения ситуация меняется. В польском сельском хозяйстве существуют большие региональные различия в интенсивности производства, отчасти из-за изменчивости природных условий. Р-статус почв значительно различается между регионами, при этом доля почв с низким или очень низким Р колеблется от 19% до 57%.

Наибольшее потребление минеральных удобрений приходится на западную и юго-западную часть Польши. Нормы внесения варьируются от 41,3 кг / га до 15,2 кг / га Р. Кроме того, использование навоза в качестве удобрения значительно различается между регионами и составляет 12,6 кг / га на самом высоком уровне и 2,8 кг / га на самом низком уровне. Потребление навоза является самым высоким в регионах, где доля почв с высоким Р-статусом наиболее высока, и поэтому потребность в удобрении Р является самой низкой.

² $P_2O_5 \times 0.4364 = P$

Кроме того, баланс валового Р в Польше сильно различается между регионами. Здесь отрицательные балансы были обнаружены в регионах, где большая часть почв уже имеет низкий или умеренный Р. Между тем наибольший избыток фосфора был обнаружен в регионе с наибольшей долей почв с высоким статусом фосфора и наибольшим содержанием фосфора на гектар навоза.

Относительно высокое потребление минерала Р. также зафиксировано в этом же регионе.

Согласно этим данным, польское удобрение фосфором не было оптимальным из-за условий выращивания растений, т.е. поддержание уровня фосфора в почве на участках с низким статусом фосфора или снижение уровня удобрения Р на территориях с высоким содержанием фосфора в почве. Такая практика указывает на неэффективное использование ценного ресурса и создает риск потерь фосфора в окружающей среде.

Ссылки

- DüV. 2017. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) DüV vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305)
- Häußermann, U., Bach, M., Klement L. & Breuer, L. 2019. Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise - Jahre 1995 bis 2017. Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, erscheint demnächst in der Reihe UBA-Texte.
- Kopinski & Jurga 2016. Managing phosphorus in Polish Agriculture. *Pol J Environ Stud.* 25(6): 2451–2458.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., & Munther, J. 2017a. Финская нормативная система навоза: документация системы и первые результаты. Исследования природных ресурсов и биоэкономики 48/2017. Институт природных ресурсов Финляндии.
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E. & Grönroos, J. 2017b. Turkeiläinten lannan määrä ja ominaisuudet: Tilaseurannan ja lantalaskennan tulokset Количество и свойства навоза пушных зверей. Исследования природных ресурсов и биоэкономики 46/2017. Институт природных ресурсов Финляндии.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Lehtonen, E., Turtola, E., Uusitalo, R., Lemola, R., Grönroos, J. & Lehtoranta, S. Потенциал переработки питательных веществ и современное состояние в Финляндии. Рукопись.
- Osterburg, B. & Techen, A. 2012. Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung, Abschlussbericht, Braunschweig.
- SCB. 2017. Husdjur I juni 2016, slutlig statistik. Sveriges Officiella Statistik: Statistiska Meddelanden JO 20 SM 1701. Statistikmyndigheten SCB.
- SCB. 2018. Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark 2016. Sveriges Officiella Statistik: Statistiska Meddelanden MI 40 SM 1801. Statistikmyndigheten SCB.
- UBA – Umweltbundesamt. 2017. Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung: 132 S. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesser-in-deutschland> (accessed on 12.10.2017)
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1–15.
- Wiesler, F., Hund-Rinke, K., Gäth, S., George, E., Greef, J.M., Hölzle, L.E., Holz, F., Hülsbergen, K.-J., Pfeil, R., Severin, K., Frede, H.-G., Blum, B., Schenkel, H., Horst, W., Dittert, K., Ebertseder, T., Osterburg, B., Philipp, W. & Pietsch, M. 2016. Anwendung von organischen Düngern und organischen Reststoffen in der Landwirtschaft, Berichte über Landwirtschaft 94: Nr.1, 25 s.
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Региональные запасы

фосфора в почве и навозе животных по сравнению с потребностями растений в фосфоре в Финляндии: Балтийский форум инновационных технологий для устойчивого управления навозом. WP4 Стандартизация типов навоза с акцентом на фосфор. MTT Report 124. 35 p. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti124.pdf>

3. Обзор переработки навоза

Переработка навоза предполагает использование различных технологий, позволяющих каким-либо образом изменить состав и количество навоза с целью увеличения его повторного использования, чаще всего в виде удобрений, полученного в результате рециклинга. Технологии могут быть основаны на биологических, химических или физических методах или их комбинациях. Они могут, например, разрушать органические вещества, высвобождать органически связанные питательные вещества, снижать содержание воды, восстанавливать или расщеплять питательные вещества на более концентрированные фракции и / или производить возобновляемую энергию. Отдельные технологии могут использоваться индивидуально или последовательно одна за другой, создавая различные технологические цепочки (примеры технологий и их конечных продуктов можно найти в главе 4).

К наиболее популярным технологиям переработки навоза, использовавшимся на момент написания, относятся анаэробная ферментация, механическое разделение и компостирование. Однако эти технологии сами по себе существенно не изменяют содержание питательных веществ или транспортабельность навоза и сами по себе не могут решить проблему транспортировки питательных веществ из навоза на большие расстояния. Более того, никакая технология, за возможным исключением очень эффективного центрифугирования жидкого навоза, не обеспечивает эффективного способа разделения фосфора и азота на отдельные удобрения для улучшения их использования. Поэтому более совершенная переработка навоза и продуктов его постферментации привлекает все больше внимания с целью эффективного удаления воды и последующего концентрирования питательных веществ в отдельных продуктах.

3.1. Мотивация к переработке навоза

Хозяйство выбирает переработку навоза по разным причинам. В масштабах хозяйства могут желать лучше использовать навоз, используя его энергетическое содержание для повышения самообеспеченности энергией и / или продавая энергию другим, например, инвестируя в биогазовую установку сельскохозяйственного масштаба. Цель также может быть направлена на изменение соотношения N: P в навозной жиже и более эффективное использование питательных веществ на ферме или в соседних фермах, или на рециркуляцию части навозной жижи в качестве материала подстилки путем механической сепарации.

Нормативные ограничения, ограничивающие прямое использование навоза в качестве удобрения, т. е. слишком много питательных веществ в навозе на возделываемых площадях фермы, принимая во внимание лимиты удобрений, может побудить фермы выбрать более крупномасштабную переработку навоза. Агро-кооперативная перерабатывающая установка может использоваться для переопределения питательных веществ среди участвующих ферм и / или для производства и продажи возобновляемой энергии, производимой одновременно. Такое локальное сотрудничество может включать как животноводческие, так и земледельческие фермы, и даже некоторые другие предприятия, например, занимающиеся огородничеством. Фермеры также могут захотеть или даже быть вынуждены передать часть или весь свой навоз на более крупную централизованную перерабатывающую установку. Это может иметь место, например, если на ферме имеется избыток навоза для собственного выращивания или если ее животноводство ограничено из-за слишком большого количества питательных веществ в навозе, которые можно использовать на ферме или даже в регионе.

Хотя основные мотивы переработки навоза могут различаться в зависимости от хозяйства и региона, наиболее распространенными из них являются:

- уменьшение количества навоза при хранении, погрузке-разгрузке и транспортировке,
- соответствие нормативным требованиям (экологические разрешения, IED, директива по нитратам, национальные нормативы),
- повышение ценности удобрений и / или более эффективное использование питательных веществ навоза,
- решение проблемы ограниченных емкостей для хранения навоза без строительства новых сооружений,
- использование энергии, содержащейся в навозе,
- снижение выбросов,
- борьба с излишками навоза на фермах и в регионах с помощью транспортировки,
- Вклад в экономику замкнутого цикла.

Все эти темы также тесно связаны. Преимущества и мотивы, связанные с переработкой навоза, обобщены на Рисунке 8.

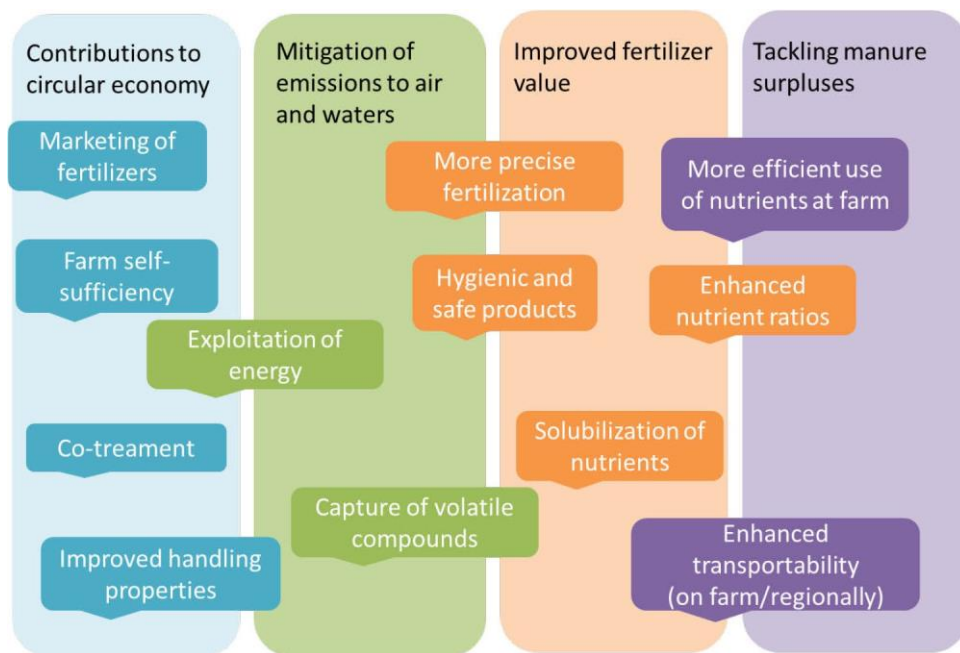


Рисунок 8. Преимущества переработки навоза разделены на четыре взаимосвязанные темы.

Важной целью переработки навоза является улучшение использования питательных веществ навоза, часто за счет их концентрирования. В зависимости от технологии переработки или технологической цепочки питательные вещества также можно разделить на определенные продукты с небольшим количеством других ингредиентов или без них. Азот также можно удалить путем денитрификации, например, путем преобразования N-соединений в молекулярный азот и выброса в атмосферу, но это не рекомендуется и несовместимо с целью рециркуляции питательных веществ. Переработка также может преобразовывать органически связанные соединения в более растворимую форму, тем самым усиливая удобряющий эффект продуктов.

В то же время органические вещества, содержащиеся в навозе, могут концентрироваться в определенных продуктах. Удобрения на основе навоза с высоким содержанием органических веществ являются ценными почвенными добавками. Дополнительное органическое вещество играет ключевую роль в поддержании физических, химических и биологических свойств почвы. Считается, что органическое вещество почвы лежит в основе устойчивого управления почвами и поддержания качества почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Увеличение притока органического углерода в почву также важно для смягчения последствий изменения климата.

Переработка также может включать производство энергии, когда часть углерода в навозе преобразуется в энергию после тепловой обработки или анаэробной ферментации. В зависимости от технологии генерируемая энергия может использоваться в качестве тепла, электричества и / или автомобильного топлива. Когда энергия используется для замены ископаемых источников энергии, это приводит к снижению воздействия на климат, что все более ценится.

Переработка навоза также может помочь сократить выбросы в воздух и воду. Для минимизации отходов необходимы надлежащие методы управления по всей цепочке до, во время и после переработки. Чтобы снизить потери газа, связанные с хранением, переработку обычно проводят как можно быстрее, чтобы сократить время хранения навоза перед переработкой. Во время переработки соотношение питательных веществ

и их доступность потенциально могут быть более оптимальными для потребностей сельскохозяйственных культур, что снижает риск потерь в воздух и воду при внесении на поля. Возможность транспортировки в районы, требующие питательных веществ, дополнительно снижает риск чрезмерного удобрения. Конечно, устойчивое управление хранением и распределением удобрений на основе навоза также имеет важное значение для сокращения выбросов.

3.2. Экономика переработки навоза

Мотивация к переработке навоза связана с затратами и потенциальными доходами. На момент написания этой статьи основной причиной низкоактивной переработки навоза была проблема экономической целесообразности. Хотя содержание питательных веществ в переработанных удобрениях и универсальность их свойств с точки зрения эффективного использования на фермах повышается за счет более совершенных вариантов обработки, затраты также растут как с точки зрения инвестиций, так и с точки зрения эксплуатации и технического обслуживания. Кроме того, чем меньше масштаб технологической установки, тем выше затраты на переработку на тонны навоза. Все это отражается на фактических ценах на переработанные продукты удобрений, и сегодня эти затраты редко покрываются той ценой, которую фермеры готовы платить. Доступно мало переработанных продуктов удобрений, и большинство из них требует изменений в методах ведения сельского хозяйства, включая новое строительство и оборудование, или контрактные услуги, которые могут быть недоступны. Минеральные удобрения дешевле, и у хозяйств есть известные методы их хранения и распределения. Их также часто можно использовать с большей точностью, и питательные вещества всегда легкодоступны для сельскохозяйственных культур, что не всегда имеет место в случае удобрений, полученных путем рециклинга.

Чтобы действительно внедрить эффективную переработку питательных веществ с перераспределением питательных веществ в разных регионах, необходимо построить совершенно новый рынок. Этого не удастся добиться без воли и поддержки общества. Следует продвигать передовой опыт, чтобы способствовать необходимым изменениям. Поскольку экономика является одним из самых серьезных препятствий, потребуется финансовая поддержка. Поддержка должна быть направлена как на использование переработанных удобрений (спрос на фермах), так и на их производство (поставка с перерабатывающих предприятий, использующих, в частности, навоз).

Переработка навоза особенно требует поддержки, чтобы действительно начать функционировать. В отношении отходов, которые муниципалитет или промышленность должны утилизировать приемлемым способом, перерабатывающий завод получает плату за переработку (авансовый платеж), которая помогает получать достаточные доходы. Однако в случае сельскохозяйственных материалов, и особенно навоза, такая плата обычно отсутствует или является низкой. Фермер не может платить, но находит более дешевые решения, если это возможно, в частности, высокие лимиты удобрения. Перерабатывающее предприятие не может осуществлять переработку, поскольку оно может не получать адекватных доходов ни от авансового платежа, ни от продажи конечной продукции, пока рынок еще не развит.

Из-за эффекта масштаба расширенное преобразование навоза в переработанные продукты удобрений было бы наиболее экономически целесообразным на крупных централизованных предприятиях. Такие крупные заводы также будут наиболее эффективными в преобразовании достаточно большого количества питательных веществ удобрений в переработанные продукты удобрений, чтобы обеспечить перераспределение в регионах. Однако стоимость инвестирования и эксплуатации завода высока, а получаемые доходы могут быть низкими в настоящее время.

Частичным решением экономической проблемы является производство энергии в рамках цепочки переработки. Например, при анаэробной ферментации часть дохода теперь поступает от продажи энергии, в то время как доход от продукта ферментации низок или даже отрицателен. Хотя потенциально более высокий доход может быть получен от дальнейшей переработки продукта ферментации в более концентрированные удобрения с лучшим соотношением N: P, это сопряжено с расходами и нет гарантии соответствующей цены. Перерабатывающим предприятиям часто легче транспортировать большие количества разбавленного продукта ферментации на поля, чем перерабатывать его в более ценные продукты.

Этот пробел в управлении навозными биогазовыми установками был замечен во многих странах, и в некоторых из них уже есть отдельные механизмы поддержки. Например, Швеция предлагает дополнительный стимул для переваривания навоза в 2014–2023 годах (Förordning 2014: 1528 om statligt stöd till produktion av biogas). Оказывается финансовая поддержка производителям биогаза, производимого из навоза при определенных условиях, что повлекло увеличение переработки навоза на биогазовых установках. Однако финансовая поддержка на самом деле не относится к использованию продукта ферментации, так как не связана с обязательными правилами его использования в качестве удобрения. Аналогичным образом, в Германии навоз является предпочтительным материалом для производства биогаза, на него приходится около 40% всех материалов на немецких биогазовых установках (Daniel-Gromke et al. 2018). Однако чем крупнее биогазовая установка, тем меньше навоза используется для производства кормового материала благодаря системе поддержки, ориентированной на производство энергии, а не на переработку питательных веществ. В Финляндии нет отдельной системы финансовой поддержки для ферментации навоза, но это обсуждалось как часть комбинированного решения, направленного на снижение выбросов, лучшую рециркуляцию питательных веществ и независимость от ископаемых энергоресурсов. Были произведены расчеты потенциальной финансовой поддержки, необходимой для начала крупномасштабной ферментации навоза в условиях высокой плотности поголовья в Финляндии, включая решительные усилия по привязке поддержки к сбалансированному повторному использованию фосфора из навоза (Луостаринен и др., 2019).

Чтобы создать настоящий рынок продуктов из переработанных удобрений, фермерам нужна поддержка, чтобы их начали использовать. Продукты должны разрабатываться так, чтобы соответствовать потребностям и решениям для практического управления ними, включая, например, заключение договоров на услуги разбрасывания. Следует распространять информацию об их преимуществах, чтобы показать, что они являются реальной альтернативой минеральным удобрениям. Только когда спрос на переработанные удобрения возрастет, производители смогут получать адекватные доходы от своей продукции.

Ссылки

Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Stinner, W., Schmalfuß, T., Scheftelowitz, M., Nelles,

M. & Liebetrau, J. 2018. Текущие разработки в области производства и использования биогаза и биометана в Германии. *Chemie Ingenieur Technik* 90(1–2): 17–35.

Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehto (Options for supporting manure-based biogas). Исследования природных ресурсов и биоэкономики 40/2019. Институт природных ресурсов Финляндии

4. Технологии переработки и получаемые удобрения.

Доступно множество различных технологий переработки навоза, от простых и надежных решений в масштабах фермы до более технологически продвинутых решений с более сложными цепочками переработки (Рисунок 9). Некоторые из технологий отработаны и готовы к внедрению, в то время как другие все еще находятся в разработке, чтобы использовать навоз в качестве субстрата.

Выбор правильной технологии переработки навоза зависит от многих факторов, таких как:

- вид навоза,
- Обработка одного типа навоза или совместная переработка разных навозов и / или другой биомассы,
- Используемый объем и масштаб,
- Стремление к качеству удобрений,
- Цели использования удобрений,
- Заинтересованность в производстве энергии и типе производимой энергии,
- Инвестиционные и эксплуатационные расходы,
- Необходимость сокращения выбросов и / или управления другими потенциальными опасностями.

Также могут быть выбраны разные технологии в зависимости от различных ожидаемых выгод (таблица 3). Часто выбор подходящей технологии переработки навоза должен начинаться с определения типа и качества удобрений, которые должны быть произведены при переработке. После выбора соответствующих характеристик продукта (например, содержания питательных веществ, гигиенические качества) и формы (например, твердое удобрение, жидкое удобрение, гранулированное удобрение и неорганическое удобрение) можно выбрать технологию производства желаемого продукта (ов). Однако одной технологии не обязательно достаточно для переработки навоза в продукт с высоким содержанием питательных веществ и минеральных удобрений, переработка часто требует объединения двух или более технологий в технологическую цепочку.

В этой главе описываются избранные технологии переработки навоза, и описывается их влияние на содержание питательных веществ в конечных продуктах и влияние их использования на окружающую среду. Кроме того, приведены некоторые примеры полномасштабной переработки навоза на фермах и в промышленных масштабах. В этой главе особое внимание уделяется технологиям с максимальным извлечением питательных веществ из навоза. По этой причине, например, технология нитрификации-денитрификации для удаления азота не рассматривается.

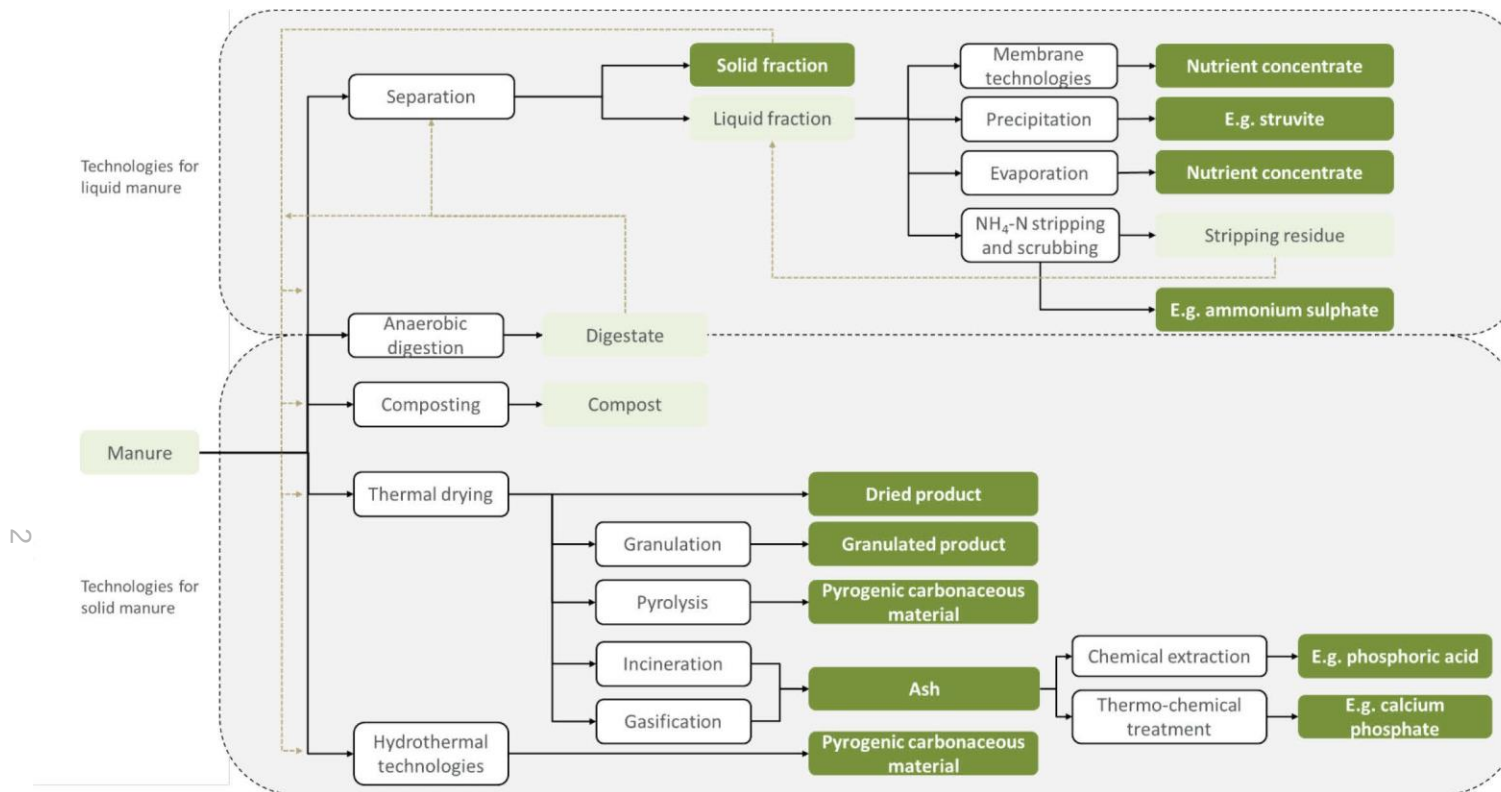


Рисунок 9. Примеры существующих или разрабатываемых потенциальных технологий переработки навоза и технологических цепочек. Полученные удобрения выделены зеленым.

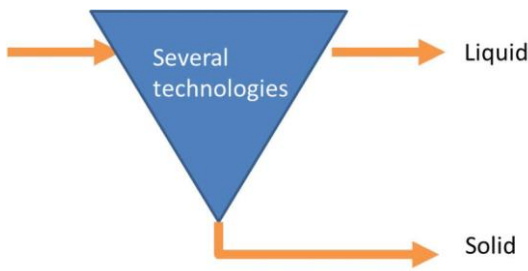
Таблица 3. Примеры целей, связанных с различными технологиями переработки навоза. Тем не менее, следует отметить, что технологии могут применяться в технологических цепочках, в которых несколько целей могут быть достигнуты одновременно.

Цели переработки навоза	Технологии обработки
Повышение товарности (по сходству с нынешними минеральными удобрениями)	Гранулирование Стриппирование Осаждение струвита / Мембранное разделение Пиролиз
Повышение самоокупаемости фермы	Механическое разделение Анаэробная ферментация Пиролиз
Совместная обработка нескольких материалов	Анаэробная ферментация Компостирование Пиролиз Газификация / Сжигание
Улучшение свойств по управлению	Компостирование Термическая сушка / Гранулирование Пиролиз
Производство возобновляемой энергии	Анаэробная ферментация Пиролиз Газификация / Сжигание
Улавливание летучего азота	Подкисление навоза Стриппирование
Улучшенная точность внесения удобрений	Механическое разделение / Удаление струвита / Мембранное разделение Термическая сушка / Гранулирование Пиролиз
Улучшенная гигиена	Термическая сушка Пиролиз Газификация Анаэробная ферментация
Солюбилизация питательных веществ	Анаэробная ферментация
Улучшенное соотношение N:P	Механическое разделение Термическая сушка Пиролиз Газификация Удаление струвита / Мембранное разделение / Выпаривание
Более эффективное использование питательных веществ на ферме	Механическое разделение Анаэробная ферментация

**Повышенная
транспортабельност
ь (на ферме / в
регионе)**

Механическое разделение (на ферме)
Термическая сушка (и
Гранулирование/Пелетизация) Пиролиз
Газификация
Стриппирование /Струвит Мембранное разделение
/ Выпаривание

4.1. Механическое разделение

Цель	Для отделения твердых и жидких фракций от жидкого навоза (или дигестата). Концентрировать макроэлементы; Р к твердой фракции и N, К к жидкой фракции. Оптимизация содержания питательных веществ для удобрений. Эффективность разделения зависит от выбранной технологии.
Исходный материал	Жидкий навоз, полутвердый навоз
Выходы	Твердая фракция, жидкая фракция
Масштаб	Фермы, средние, большие
Уровень сложности	Низкий или средний
Инновационный этап	Зрелый (промышленный / коммерческий)
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Уровень фермы

Механическое разделение направлено на разделение твердой и жидкой фракций навозной жижи и может состоять из различных технологий, обычно включая винтовой пресс, центрифугу или просеиватель (таблица 4). Сепараторы эффективны в производстве фракции твердых частиц с высоким содержанием сухого вещества при относительной рентабельности. Разделение может повысить эффективность и эластичность обработки и транспортировки навоза и помочь более точно управлять питательными веществами из навоза.

Конечные продукты как удобрения

Механическое разделение может уменьшить объем жидкой фракции до 40% по сравнению с объемом сырой навозной жижи. Тем не менее, обычно содержит большую часть исходного объема навозной жижи. Большинство растворимых питательных веществ переходит в жидкую фракцию, что означает, что содержание фосфора обычно низкое. Это может позволить определять его дозировки на основе азота без превышения предельных значений Р. Однако это зависит от эффективности разделения Р, которая, в свою очередь, зависит от выбранной технологии и отделяемого осадка.

Твердое вещество часто содержит большую часть фосфора из исходной навозной жижи (0,5–7 г Р / кг), поскольку большая часть Р связана с органическим веществом, остающимся в твердых веществах. Органический азот (0,5–12 г N / кг) также в основном содержится в твердой фракции. Благодаря высокому содержанию сухого вещества (обычно 20-30%) твердые частицы легче транспортировать на поля подальше от фермы, что снижает транспортные расходы и позволяет использовать питательные вещества навоза более широко, чем в форме навозной жижи. Его можно хранить и разбрасывать как навоз.

Фосфор в разделенных фракциях присутствует в основном в форме, легко растворимой в навозе крупного рогатого скота, свиней и птицы, и установлено, что они повышают содержание биодоступного Р в почве до уровня, сравнимого с минеральным Р-удобрением, суперфосфатом.

Преимущество жидкой фракции во время разбрасывания состоит в том, что она обычно требует небольшого перемешивания или совсем не требует его и вызывает меньшее загрязнение листьев лугопастбищных культур. Из-за более низкого содержания сухого вещества он быстрее проникает в почву, что снижает выбросы аммиака по сравнению с сырой навозной жижей. Однако общие выбросы аммиака, как из твердых, так и из жидких фракций во время хранения и разбрасывания могут быть выше, чем выбросы из сырой навозной жижи, если складские помещения не покрыты.

Разделение не влияет на болезнетворные микроорганизмы или другие загрязнители, но они разделяются на твердую и жидкую фракции в соответствии с их растворимостью.

Таблица 4. Наиболее распространенные технологии механической сепарации навоза.

	Винтовой пресс	Центрифуга	Просеивание
Описание	Применение давления для разделения фильтрацией взвешенных частиц и жидкой фракции. Разделяемый материал попадает в цилиндрическое сито (0,5–1 мм). Жидкость пройдет через сито, а фракция, богатая сухим веществом, будет прижата к пластине.	Создается центробежная сила, вызывающая отделение твердых частиц от жидкости. В центрифуге используется закрытый цилиндр с непрерывным вращением (3000–4000 об / мин). Фракции разделяются на стенке на внутренний слой с высокой концентрацией сухого вещества и внешний слой, состоящий из жидкости.	Ситовые сепараторы (статические или вибрирующие) состоят из сита с определенным размером пор. Жидкость протекает через сито, а твердая фракция остается на сите. Рекомендуется низкий TS (<2%) в суспензии. Существует компромисс между размером экрана, эффективностью разделения и риском засорения.
Эффективность преобразования	Объем 5–20%; TS 15–30%; N 5–20%; P 5–30% в твердой фракции	Объем 5–20%; TS 40–70%; TN 15–30%; NH ₄ -N 10–20%; TP 50–95% в твердой фракции	Объем 30–40%; TS 50–80%, TN 40–80%; TP 30–80% в твердой фракции.
Потребление энергии	0.1–1 кВтч/м ³	3–6 кВтч/м ³	0.1–1.3 кВтч/м ³
Реагенты	Not usual.	Коагуляторы или флокулянты могут применяться к навозной жиже для увеличения количества твердых частиц и отделения фосфора.	Коагулирующие или флокулирующие агенты могут применяться к навозной жиже для увеличения отделения твердых частиц и фосфора.
Инвестиционные затраты	17,000–28,000 €	40,000–60,000 € (1.5–2 м ³ /ч), 100,000 € (25 м ³ /ч)	3,500–15,000 € (ситовый), 15,000 € (вибрационный)
Операционные затраты	0.5–1.05 €/м ³ вложений	0.6–2.3 €/м ³ вложений	
Труд	Необходимы незначительные трудовые ресурсы		
Положение	Требуется небольшая площадь, но необходимы склады для твердых и жидких веществ.		

Затраты рассмотрены на основе «Деятельность по переработке навоза в Европе» (Flotats et al. 2011) и <http://agro-technology-atlas.eu/>

Воздействие на окружающую среду

Твердая фракция может быть экспортирована с меньшими затратами в районы с низким уровнем запасов, что снижает проблемы, связанные с избытком питательных веществ, в то время как жидкие фракции можно использовать ближе или дальше обрабатывать на месте.

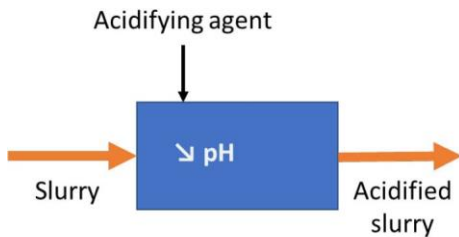
Разделение может снизить выбросы парниковых газов и аммиака во время хранения навоза и после его внесения в поле по сравнению с перемещением навоза без обработки. Выбросы метана из хранилища жидкого навоза сокращаются, поскольку соединения, ответственные за эти выбросы (летучие твердые вещества), отделяются с твердыми частицами. При хранении твердых веществ условия аэрации снижают выбросы метана. В процессе отделения также удаляются волокнистые и крупные частицы органического материала из жидкой фракции навоза, что предотвращает образование естественной корки. Корка может создавать анаэробные условия, которые способствуют образованию закиси азота у поверхности. Однако отсутствие естественной корки может увеличить выбросы аммиака при хранении жидкости. Несмотря на увеличение во время хранения, общие выбросы аммиака при утилизации навоза в системе разделения остаются примерно такими же, как и в системах без разделения, поскольку выбросы аммиака после внесения сокращаются. Это объясняется более эффективной инфильтрацией неорганического азота в почву, поскольку содержание органических веществ в навозной жиже уменьшается во время разделения.

Ссылки

- Aguirre-Villegas, H.A., Larson R.A. & Reinemann, D.J. 2014. От отходов к стоимости: влияние способов переработки навоза на энергию, выбросы и питательные вещества. Биотопливо, биопродукты и биопереработка 8: 770–93.
- Amon, B., V. Kryvoruchko & G. Moitzl, T. Amon. 2006. Снижение выбросов парниковых газов и аммиака путем обработки навозной жижи. Серия международных конгрессов 1293: 295–298.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Технологии переработки навоза. Технический отчет № II о деятельности по переработке навоза в Европе для Главного управления окружающей среды Европейской комиссии. 184 pp. Доступно на http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Fuchs, W. & Drosch, B. 2010. Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten, Eigenverlag der Universität für Bodenkultur Wien; ISBN: 978-3-900962-86-9.
- Gilkinson, S., Frost, P. 2007. Оценка механического разделения навозной жижи свиней и крупного рогатого скота с помощью центрифуги для удаления канализации и щеточного сепаратора. AFBI-Hillsborough.
- Hansen, M.N., Birkmose, T.S., Mortensen, B. & Skaaning, K. 2005. Влияние разделения и анаэробного разложения жидкого навоза на запах и выделение аммиака при последующем хранении и внесении в почву. В: Bernal, P., Moral, R., Clemente, R., Paredes, C. (Eds.) Устойчивое управление органическими отходами для защиты окружающей среды и безопасности пищевых продуктов. FAO and CSIC, pp 265–269.
- Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L. & Sommer S.G. 2010. Разделение твердой и жидкой навозной жижи животных в теории и на практике. Обзор. Agron. Sust. Devel. 30: 153–180. DOI: 10.1051/agro/2009010.
- Ledda, C., Schievano, A., Salati, S. & Adani, F. 2013. Восстановление азота и воды из

- жидкого навоза с помощью нового интегрированного процесса ультрафильтрации, обратного осмоса и холодного стриппирования: тематическое исследование. *Water Res* 47: 6165–6166.
- Levasseur, P. 2004. *Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés*. ITP (in French).
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. 2002. Эффективность сепарации и гранулометрический состав в зависимости от типа навоза и условий хранения. *Биоресурсные технологии*. 85: 189–196.
- Møller, H.B., Lund, I. & Sommer, S.G. 2000. Разделение жидкого и твердого навоза: эффективность и стоимость. *Биоресурсные технологии* 74: 223–229.
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Отчет о наличии фосфора в соответствии с фракционированием Хедли и методом DGT. 3.4.

4.2. Подкисление жидкого навоза

Цель	Подкисление жидкого навоза - это метод уменьшения потерь аммиачного азота из навоза
Исходный материал	Жидкий навоз животных, жидкий навоз, дигестат, сепарированный жидкая фракция
Выходы	Подкисленный жидкий навоз
Масштаб	Ферма, подрядчик
Уровень сложности	Низкий
Инновационный этап	Ферма, подрядчик
Общая схема	 <pre> graph LR Slurry --> Box[pH] Agent[Acidifying agent] --> Box Box --> Acidified[Acidified slurry] </pre>
Вклад в переработку питательных веществ	Уровень фермы

Азот в навозе присутствует в основном в форме органического азота и аммиачного азота. Аммиачный азот - это общая сумма как аммиачного (NH_3), так и аммиачного (NH_4^+) азота. В жидком растворе существует равновесие между аммиаком и аммонием, которое в значительной степени зависит от pH. Аммиак - это бесцветный газ, который легко испаряется, тогда, как аммоний легко образует соли, которые растворимы и стабильны в растворе. Добавление кислот способствует протонированию аммиака, сдвигая равновесие в сторону аммиака, тем самым снижая потенциальные потери азота при испарении аммиака. Существуют коммерчески доступные технологии для подкисления навозной жижи в помещениях для животных перед перекачкой навозной жижи в зону хранения или непосредственно перед или во время разбрасывания. Во всех установках для подкисления используется серная кислота.

Подкисление навоза - это в первую очередь технология обработки, направленная на сокращение выбросов аммиака из навоза. Таким образом, подкисление увеличивает количество азота в навозной жиже, доступное для роста растений после разбрасывания, что существенно увеличивает эффективность питательных веществ навозной жижи на фермах и, таким образом, может увеличить повторное использование питательных веществ на ферме.

Подкисление можно использовать в качестве технологической стадии в технологической цепочке для производства различных переработанных продуктов удобрений, поскольку это может, например, помочь снизить потери аммиака во время сушки или других последующих стадий обработки.

Конечные продукты как удобрения

Конечный продукт представляет собой подкисленный жидкий навоз или дигестат. Подкисление увеличивает содержание азота в жидком навозе за счет снижения потерь за счет выбросов аммиака. Когда серная кислота используется для подкисления, содержание серы в навозной жиже также увеличивается. Подкисленный жидкий навоз хранится или распространяется с помощью обычного оборудования.

Воздействие на окружающую среду

Подкисление снижает выбросы аммиака из навоза и дигестата на 50–70%. Если жидкий навоз подкисляется во время хранения, это также снизит выбросы метана на + 90% во время хранения. Некоторые исследования показывают, что подкисление может снизить выбросы закиси азота, но в научной литературе нет единого мнения по этому поводу.

Реальные референсные шкалы

В Дании имеется около 150 собственных систем подкисления жидкого навоза, около 50% из которых на фермах крупного рогатого скота и 50% на свинофермах. Также существует модифицированная собственная система, установленная на свиноферме в Польше, где отделенная жидкая фракция подкисляется перед отправкой в лагуну для хранения.

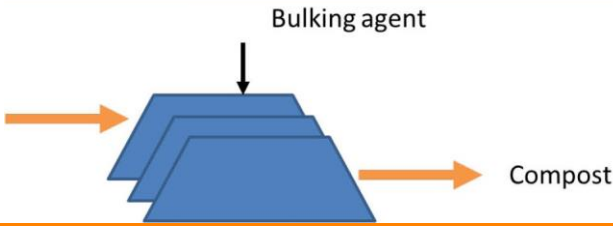
В Дании имеется около 75 складских систем, и одна в Польше.

В Дании имеется около 175 систем подкисления жидкого навоза, одна в Германии, одна в Швеции, одна в Латвии и одна в Литве.

Ссылки

- Mazur, K. & Sindhoj, E. 2017. Описание о методах подкисления жидкого навоза (SAT) и о том, как они применяются.: Возможности и узкие места для внедрения SAT в регионе Балтийского моря.
Editors Rodhe, Casimir and Sindhøj, Опубликовано Балтийским проектом по подкислению навозной жижи, доступно на www.balticslurry.eu
- Fangueiro, D., Hjorth, M. & Gioelli, F. 2015. Подкисление навозной жижи - обзор. Журнал экологического менеджмента 149: 46–56.

4.3. Компостирование

Цель	Достижение минерализации и частичной гумификации органических веществ, что приводит к получению стабильного продукта с большинством исходных питательных веществ, свободного от патогенов и семян.
Исходный материал	Твердый навоз, твердая фракция жидкого навоза
Выход	Компост, CO ₂ , H ₂ O
Масштаб	Ферма, средняя, большая
Уровень сложности	Низкий или средний
Инновационный этап	Зрелый (промышленный / коммерческий)
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Ферма и региональный уровень

Компостирование - это спонтанный, аэробный и термофильный (40-65 ° C) процесс, включающий минерализацию и частичную гумификацию органических веществ, приводящий к более стабильному конечному продукту, называемому компостом. Процесс компостирования наиболее подходит для твердого навоза, хотя технологии влажного компостирования существуют.

Процесс компостирования начинается с разложения, в результате которого экзотермические реакции повышают температуру компостируемой матрицы выше 50 ° C. Чтобы реакция могла протекать, должны быть обеспечены аэробные условия. На втором этапе происходит отверждение. Органические соединения разлагаются, образуются гуминовые и фульвокислоты. Температура медленно понижается. Весь процесс занимает от 8 до 16 недель. Оптимальные условия в матрице компостирования - влажность 40-65% и соотношение C / N 25-35. Для твердых удобрений обычно требуется добавление наполнителя (например, хорошо измельченной соломы) для достижения желаемого отношения C / N, структуры и пористости.

Конечные продукты как удобрения

Основная цель компостирования навоза или отделенных твердых частиц - снизить затраты на транспортировку питательных веществ за счет снижения веса и стабилизации материала, что приводит к улучшению почвы - без запаха, без сорняков и с низким уровнем патогенности.

Процесс компостирования снижает содержание органического углерода в материале из-за разложения органических веществ. Эта потеря снижает вес и снижает отношение C / N. Общая потеря веса обычно составляет около 55% и состоит как из потери влаги, так и из сухого вещества, и служит для уплотнения питательных веществ. Компосты могут иметь содержание сухого вещества около 20-60% в зависимости от исходного материала, технологического процесса и используемых наполнителей. Содержание фосфора остается неизменным в процессе, хотя может наблюдаться некоторое снижение водорастворимого P. Поддержание азота может быть затруднено, так как аэрация и высокие температуры приводят к улетучиванию NH₃ во время цикла нитрификации. Общие потери азота в процессе компостирования обычно составляют 10-30%. Минерализация органических соединений приводит к образованию NH₄-N. Однако нитрификация, возникающая путем образования NO₃-N, приводит к низкому соотношению NH₄-N / NO₃-N в зрелом компосте.

Было показано, что биодоступность фосфора в птичьем помете снижается с течением периода хранения, в то время как в горшках компостированный навоз молочное имел лучший эффект Р-удобрения, чем минеральное Р-удобрение.

Воздействие на окружающую среду

Компостирование стабилизирует органическое вещество, но производит парниковые газы, которые также снижают агрономическую ценность конечного компоста. Утраченный углерод присутствует в форме CO₂ и CH₄. Активно реверсивная куча производит более высокие выбросы CO₂ и более низкий уровень CH₄, чем пассивная аэрация (без реверсирования). Выбросы N₂O относительно низкие.

Компостирование внутри емкости имеет много преимуществ перед компостированием в куче, поскольку оно происходит в более контролируемых условиях. Существует также возможность улавливать газы (в основном NH₃, NO_x и N₂O), образующиеся в процессе компостирования, и очищать отработанный воздух перед его выбросом в окружающую среду. Контроль температуры может быть хорошим методом снижения потерь азота за счет улетучивания NH₃, тем самым получая компост с высоким содержанием N. По мере процесса компостирования образуются стабильные соединения азота, которые менее подвержены улетучиванию, денитрификации и выщелачиванию. Таким образом, стабилизированные материалы, такие как компост, представляются лучшим источником органических веществ и азота для почвы с сельскохозяйственной точки зрения.

При компостировании навоза концентрация микроэлементов увеличивается в зависимости от потери массы субстрата. Компостирование может частично разрушить антибиотики, но это зависит от соединений и условий компостирования. Для получения гигиенических конечных продуктов партии компоста должны храниться при температуре 55 ° C не менее 4 часов между каждым оборотом (минимум 3 оборота), а компост должен созреть для завершения процесса компостирования. В вентилируемой куче и компостировании в емкости партии следует хранить при минимальной температуре 40 ° C не менее 5 дней, в течение которых партию следует хранить в течение 4 часов при минимальной температуре 55 ° C и компост должен созреть для полного завершения процесса компостирования. Компост также должен быть хорошо аэрирован, чтобы обеспечить надлежащую гигиену.

Таблица 5. Технологии компостирования навоза

	Пассивный валок	Активный валок	Аэрированный статический валок	Внутриемкостной канал
Описание	Компостирование штабелями или кучами путем естественной вентиляции в течение длительного времени. Низкие технологии, проблемы с качеством.	Компостирование в валки с использованием механической аэрации с помощью фронтального погрузчика или специально разработанного устройства для ворошения валков. Чаще всего встречается на фермах.	Компостирование штабелями или валками с механической аэрацией и источником воздуха. Нагнетание или втягивание воздуха через кучу компоста. В фермерском и коммунальном хозяйстве.	Компостирование в барабанах, силосах или каналах с использованием высокоскоростной контролируемой системы аэрации для обеспечения оптимальных условий. Быстрый процесс разложения круглый год. Крупномасштабные системы для коммерческих приложений.

Эффективность преобразования	Уменьшение объема 40–50%; аммиак до NO ₃ и органический N 40–70%; концентрация P, K; стабилизация органического вещества			
Потребление энергии	-	-	-	Контейнерного типа (11 д) 10 кВтч / т
Наполнитель	Менее эластичный, должен быть пористым.	Эластичный.	Менее гибкий, должен быть пористым.	Эластичный.
Продолжительность процесса	6–24 месяцев	21–40 дней	21–40 дней	21–35 дней
Отверждение	Not applicable.	30+ дней	30+ дней	30+ дней
Контроль процесса	Только предварительное перемешивание	Предварительное перемешивание и переворачивание	Предварительное перемешивание, аэрация, контроль температуры и / или времени.	Начальное перемешивание, аэрация, контроль температуры и / или времени и переворачивание
Система аэрации	Только естественная конвекция.	Механическая и естественная конвекция	Принудительный поток воздуха через штабель.	Обширная механическая обработка и аэрация.
Запах	Появится запах. Чем больше валок, тем больше запахи.	С поверхности валка. Переворачивание может создавать запахи во время первоначальных недель.	Запах может возникать, но его можно контролировать, например, с помощью изоляции и воздушных фильтров.	Может появиться запах. Часто из-за отказа оборудования или конструктивных ограничений системы.
Инвестиционные затраты	-	Полная установка (2000 т / год навоза + 1360 т / год опилок) 35 000–100 000 €.	-	Барабанный компостер, вкл. контейнеры, смесители, концентраты и т. д. 320 000 €.
Операционные затраты	-	20 €/t	-	-
Труд	Незначительные трудовые затраты	Увеличивается при частоте аэрации и плохом планировании.	Системное проектирование и планирование важно. Необходим мониторинг.	Требуется постоянный уровень управления / потока продукции для поддержания рентабельности

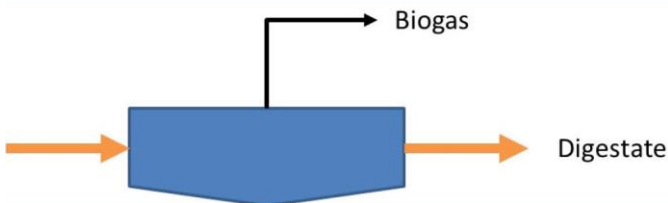
Положение	Требует больших земельных участков.	Могут потребоваться большие земельные участки	Меньше земли (более высокие темпы и эффективные объемы штабелей).	Очень ограниченные территории из-за быстрых темпов и непрерывной работы.
------------------	-------------------------------------	---	---	--

Затраты основаны на Flotats et al. (2011) и <http://agro-technology-atlas.eu/>

Ссылки

- Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A. & Cegarra, J. 1998. Параметры зрелости и стабильности компостов, приготовленных из широкого спектра органических отходов. Биоресурсные технологии 63: 91–99.
- Bloem, E., Albiñá, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Загрязнение источников органических питательных веществ потенциально токсичными элементами, антибиотиками и патогенными микроорганизмами в связи с потенциалом удобрений Р и вариантами обработки для производства экологически чистых удобрений: обзор. Наука об окружающей среде в целом 607–608: 225–242.
- Carrington, E. G. 2001 Оценка обработки осадка с точки зрения снижения количества патогенов, окончательный отчет. Контракт на исследование № B4-3040 / 2001/322179 / MAR / A2 для Директората Европейской комиссии - общая среда.
- Dumontet S., Diné H. & Baloda S. B. 1999. Уменьшение количества патогенов в иле сточных вод путем компостирования и других биологических обработок: обзор. Биологическое сельское хозяйство и садоводство 16: 409–430.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Технологии переработки навоза. Технический отчет № II о деятельности по переработке навоза в Европе для Главного управления окружающей среды Европейской комиссии. 184 стр. Доступно на <http://agro-technology-atlas.eu/> Отчет II Технологии переработки навоза.
- Larney, F. J., Olson, A.F., DeMaere, P.R., B. P. Handerek, B.P. & Tovell, B.C. 2008. Изменения питательных веществ и микроэлементов во время компостирования навоза на четырех откормочных площадках южной Альберты. Канадский журнал почвоведения 88(1): 45–59.
- Peirce, C.A.E., Smernik, R.J. & McBeath, T.M. 2013. РНаличие фосфора в курином помете ниже с увеличением периода хранения, несмотря на высокое содержание ортофосфата. Растения и почва 373: 359–372.
- Ylivainio, K., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2008. Мясо-костная мука и лисий навоз как источники фосфора для райграса (*Lolium multiflorum*), выращиваемого на известковой почве. Круговорот питательных веществ в агроэкосистемах 81: 267–278.

4.4. Анаэробная ферментация

Цель	Повышение энергетического потенциала навоза за счет микробиологического анаэробного разложения. Другими целями являются сокращение выбросов при хранении навоза, увеличение доли растворимого азота в конечном продукте, возможность рециркуляции других органических материалов на ферме (совместное брожение с навозом).
Исходный материал	Навозная жижа, твердый навоз (плюс дополнительные кормовые материалы)
Выходы	Дигестат, биогаз
Масштаб	Ферма, средняя, большая
Уровень сложности	Средний
Инновационный этап	Зрелый (промышленный/коммерческий)
Общая схема	 <pre> graph LR Input(()) -- orange arrow --> Reactor[Blue trapezoid] Reactor -- black arrow --> Biogas[Biogas] Reactor -- orange arrow --> Digestate[Digestate] </pre>
Вклад в переработку питательных веществ	Уровень фермы и региональный уровень (региональное перераспределение питательных веществ может быть значительно улучшено, если дигестат будет подвергнут последующей переработке в более концентрированные продукты)

Анаэробная ферментация (АФ) - это микробное разложение биомассы в анаэробных условиях. Это широко используемый метод для обработки различных побочных потоков органических веществ, например, навоза. АФ восстанавливает энергию в виде биогаза (50-70% метана, 30-50% углекислого газа, следы других газов) для непосредственного использования в теплоэлектроцентралях и / или в транспортных средствах и промышленных газах после очистки (удаление CO₂). и в качестве замены природного газа. Также позволяет рециркулировать питательные вещества и остаточные органические вещества за счет повторного использования дигестата в качестве удобрения.

АФ обычно осуществляется в мезофильном (35–40 ° C) или термофильном (50–55 ° C) диапазоне температур. Считается, что мезофильная ферментация более устойчива к нарушениям процесса, таким как изменения температуры, в то время как термофильная ферментация происходит немного быстрее и может давать более высокие выходы биогаза, но более восприимчива к ингибированию процесса. АФ можно использовать во влажных условиях (общее содержание твердых веществ, содержание TS <15%) или в виде сухой минерализации (содержание TS более 15%). Влажная ферментация подходит для биомассы с изначально высоким содержанием воды, например для жидкого навоза и шлама. Кроме того, сырье с высоким содержанием сухого вещества может быть добавлено для влажного сбраживания с другими, более разбавленными материалами, поддерживая общее содержание сухого вещества в процессе ниже 15%. Сухие материалы также можно минерализовать твердофазными процессами (также известными как минерализация с высоким содержанием твердых частиц или сухая минерализация) без дополнительной воды или с небольшим разбавлением, в зависимости от потребностей типа используемого реактора. Камеры сухого брожения могут работать как в периодическом, так и в непрерывном (поршневой) режимах.

Таблица 6. Технологии анаэробной ферментации навоза

	Влажная ферментация	Высокое содержание твердых фракций (партия)	Высокое содержание твердых частиц (постоянно)
Описание	Цилиндрические реакторы непрерывного действия, TS <15%.	Реакторы валкового или гаражного типа, TS >25%.	Барабанные реакторы, поршневого типа, TS 15–25%.
	Известный и надежный процесс.	Большая скорость загрузки органических субстанций, а тем самым меньший объем реактора благодаря более высокому TS в сырье. Большая толерантность к нейтральным веществам, таким как песок и камни, в сравнении с влажными ферментационными камерами. Отсутствие проблем связанных с расслоением и флотацией волокнистого материала, но сложно перемешивать и получать неоднородный стабильный дигестат.	
Эффективность преобразования	Около 30% органического вещества субстрата превращается в CH4 и CO2. Изменение массы незначительное. При этом общее содержание питательных веществ не изменяется. Органический азот частично минерализуется в NH4-N во время ферментации.		
Потребление энергии	10–30% произведенной энергии необходимо для нагрева реактора, 4–10% выработки электроэнергии - на смешивание и перекачку.	Меньше энергии расходуется на нагрев за счет меньшего объема реактора. Меньше потребления электроэнергии при отсутствии смешивания.	Меньше энергии используется для нагрева из-за меньшего объема реактора, больше электроэнергии требуется для перемешивания.
Продолжительность процесса	Непрерывно, время удерживания 14–100 дней в зависимости от способности биомассы разлагаться.	Пакетный процесс, продолжительность 30-60 дней.	Непрерывный, время удерживания 20–100 дней
Контроль процесса	Непрерывное перемешивание	Без смешивания. Возможна рециркуляция перколяционной жидкости.	Непрерывное перемешивание
Запах	Если процесс функционирует правильно, запах уменьшается во всех типах процессов. Перемешивание может стать проблемой при ферментации твердых веществ и вызвать частичное разложение и, следовательно, неприятный запах.		
Инвестиционные затраты	Зависит от мощности реактора, сырья и интеграции с технологиями переработки дигестата. Затраты на ферментационные камеры, перерабатывающие 50% навоза и 50% растительной биомассы, могут варьироваться от 0,42 до 0,59 евро / кВтч для малых предприятий, 0,36-0,62 евро / кВтч для кооперативных предприятий и 0,38–0,41 евро / кВтч для крупных предприятий. Инвестиционные		

	затраты 50 евро / тонна.		
Операционные затраты	2.1 €/тонна.		
Труд	Необходимы средние трудовые ресурсы, в зависимости от масштаба.		
Положение	Цилиндрические реакторы	В пакетном режиме несколько реакторов валкового или гаражного типа, работающих параллельно	Барабанные реакторы с меньшей занимаемой площадью по сравнению с ферментационными камерами влажного типа

Инвестиционные затраты оцениваются согласно Gebrezgabher et al. 2012 and <http://agro-technology-atlas.eu/>

Конечные продукты удобрения

Органическое вещество навоза частично разлагается в процессе микробиологической ферментации, но все питательные вещества сохраняются. Фосфор и калий могут быть частично солюбилизованы, но изменение более значимо при минерализации органического азота в аммонийный азот. Содержание питательных веществ в дигестате зависит от содержания питательных веществ и способности исходного сырья к разложению. Было обнаружено, что наличие фосфора в ферментированном навозе молочного скота находится на том же уровне, что и в неферментированной навозной жиже. Доступность фосфора, как в навозной жиже, так и в ее дигестате была лучше, чем в случае минерального фосфорного удобрения - суперфосфата. При одинаковых общих дозах удобрения Р навозная жижа и ее дигестат дали более высокие урожаи ячменя по сравнению с суперфосфатом.

Во время ферментации легко разлагающиеся органические вещества превращаются в биогаз, но около 20-50% органических веществ сырья все еще находится в процессе ферментации и действует как улучшитель почвы. По сравнению с удобрением pH дигестата обычно выше (pH 7,5–8). Дигестат влажной ферментации содержит 2-7% TS, что аналогично навозной жиже и поэтому может храниться и разбрасываться с помощью аналогичного оборудования. Кроме того, содержание питательных веществ может быть очень похоже на жидкий навоз (0,5–6 г Р / кг, 3–10 г N / кг), только концентрация аммония выше в дигестате (0,5–5 г NH₄-N / кг). Твердый дигестат после ферментации имеет более высокое содержание сухого вещества и может храниться и распределяться так же, как навоз. Он также может напоминать полутвердый навоз, с которым трудно работать, поскольку его нельзя перекачивать или складывать. В этом случае дигестат должно быть механически разделен, чтобы обеспечить практическое управление им.

Воздействие на окружающую среду

Использование возобновляемого биогаза в энергетике может заменить ископаемое топливо, а использование питательных веществ из дигестата заменяет минеральные удобрения. Азот может быть более доступным для сельскохозяйственных культур, поскольку часть органического азота выделяется в растворимую форму в процессе ферментации. Однако минерализация азота может также увеличить риск выбросов NH₃, и для хранения и распределения дигестата необходимы хорошие решения. Рекомендуется хранить под навесом, а разбрасывание должно происходить путем инъекции (осадок дигестата или отделенного жидкого дигестата) или прямого мульчирования (в случае твердого дигестата или отделенных твердых частиц дигестата).

Анаэробная ферментация может снизить выбросы парниковых газов в результате обращения с навозом, если время выдержки в реакторе является достаточным и / или используется пост-ферментация, а решения для хранения навоза включают крытое хранение. Кроме того, следует минимизировать возможные выбросы метана из биогазовой установки из-за утечек.

Существует потребность в дальнейшей обработке дигестата, особенно на крупных биогазовых установках, для улучшения логистики и увеличения рециркуляции питательных веществ в областях, где они необходимы. Дигестат может быть переработан с использованием различных технологий (см. другие технологии, представленные в главе 4), например разделение твердой и жидкой фаз и дальнейшая очистка твердой и жидкой фракций дигестата.

Гигиенизация во время АФ зависит от параметров процесса; более высокие температуры и более длительное время удерживания увеличивают клиренс патогенов. Термофильная ферментация может обеспечить эффективное уменьшение количества патогенов, но может потребоваться отдельная гигиенизация в мезофильном температурном диапазоне. Чтобы получить безопасные конечные продукты для наиболее важных зоонозных патогенов (кроме спорообразующих бактерий), мезофильную АФ следует сочетать с пастеризацией (70 ° C в течение 60 мин) до или после обработки, что также повысит безопасность термофильных дигестатов. Кроме того, термический гидролиз в качестве предварительной обработки или термическая сушка (см. Раздел 4.5.1) в качестве дополнительной обработки может использоваться для гигиенизации и более эффективен, чем пастеризация против спорообразующих бактерий. Сухие дигестаты также можно компостировать для дальнейшей гигиенизации, но из-за потери азота это обычно не рекомендуется (см. Раздел 4.3).

Влияние АФ на органическое загрязнение до сих пор неясно, хотя известно, что некоторые соединения биотрансформируются во время этого процесса. Однако известно, что некоторые соединения не подвергаются разложению, и их судьба в дигестате зависит от их физико-химической природы. АФ не снижает концентрации микроэлементов, но немного увеличивает их количество по отношению к потере субстрата. Антибиотики могут частично разлагаться, но различные антибиотики можно найти в дигестатах в значительных концентрациях в зависимости от их концентраций в кормах.

Пример из практики: агроэкологический симбиоз Палопуро, Финляндия.

Knehtilä Ферма в Финляндии - это органическая ферма, производящая в основном зерновые. Вместе с другими местными предприятиями ферма разработала агроэкологический симбиоз, способствующий развитию кооперационного производства продуктов питания, самообеспечение энергией и питательными веществами. В качестве сырья используются сидераты, выращиваемые на ферме в рамках севооборота (2000 т / год), а также птичий и конский навоз (500–1100 т / год) с соседних хозяйств и конюшен. Используемый процесс представляет собой твердофазную ферментацию. Произведенная энергия (2,5 ГВтч / год) используется в основном в качестве автомобильного топлива, а модернизация и распределение газа осуществляется местной энергетической компанией. Дигестат используется в качестве органического удобрения на ферме.



Пример из практики: Jeruan Biokaasu Ltd, Финляндия

В настоящее время в Финляндии действует крупномасштабная биогазовая установка (Jeruan Biokaasu) мощностью 90 000 т / год (увеличение до 150 000 т / год в 2020-2021 гг.). Основным субстратом является навоз свиней (около 40 000 т / год), но также используется навоз крупного рогатого скота и различные побочные потоки промышленности и растениеводства. Свиной навоз на завод по трубам доставляют с близлежащих (расстояние <5 км) хозяйств.

На момент написания этой статьи завод состоял из трех реакторов по 4000 м³ для ферментации навозной жижи, но в стадии строительства находится дополнительная система для ферментации твердых фракций. В твердофазном процессе в качестве субстратов используются навоз, солома и побочные промышленные отходы. Произведенный биогаз (30 ГВтч / год только за счет влажной ферментации) используется для собственных нужд предприятия, продается на месте в качестве автомобильного топлива и продается для промышленных целей.

На момент написания произведенный дигестат не перерабатывается, а используется в качестве удобрения. Дигестат транспортируется на близлежащие фермы по трубам или на большие расстояния (до 100 км) грузовиками. Транспортировку оплачивает биогазовый завод. Дигестат является желанным продуктом среди фермеров из-за его полезности в экологическом земледелии. Завод также тестирует разделение дигестата и переработку жидкой фракции в более концентрированные удобрения.

**Ссылки**

- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Загрязнение источников органических питательных веществ потенциально токсичными элементами, антибиотиками и патогенными микроорганизмами в связи с потенциалом удобрений Р и вариантами обработки для производства экологически чистых удобрений: обзор. Наука об окружающей среде в целом 607–608: 225–242.
- Gebrezgabher, S.A., Meuwissen, M.P.M. & Oude Lansink, A.G.J.M. 2012. Энергетически нейтральная молочная цепочка в Нидерландах: анализ экономической целесообразности. Биомасса и биоэнергетика 36: 60–68.
- Phan, H.V., Wickham, R., Xie, S., McDonald, J.A., Khan, S.J., Ngo, H.H., Wenshan, G. & Nghiem, L.D. 2018. Судьба следов органических загрязнителей во время анаэробной ферментации первичного осадка: исследование пилотного масштаба. Биоресурсные технологии 256: 384–390.
- Martinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. MTT Raportti 135. 87 p. Summary in English: Наличие опасных органических соединений

- и фармацевтических препаратов в дигестате биогазовой установки и оценка риска для цепочки производства пищевых продуктов.
- Naegele, H-J., Lemmer, A., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2012. Electric Потребление энергии полномасштабной исследовательской биогазовой установки «Unterer Lindenhof»: результаты долгосрочных и детальных измерений. Энергии 5: 5198–5214.
- Vuorinen, A., Pitkälä, A., Siitonen, A., Hänninen, M-L., von Bonsdorff, C. H., Ali-Vehmas, T., Laakso, T., Johansson, T., Eklund, M., Rimhanen-Finne, R. & Maunula, L. 2003. Осадок сточных вод и продукты из осадка для использования в сельском хозяйстве - Исследование гигиенического качества (LIVAKE 2001–2002). Публикации Министерства сельского и лесного хозяйства 2/2003. 64 р.
- Yang, L., Xu, F., Ge, X. & Li, Y. 2015. Проблемы и стратегии твердотельного анаэробного переваривания лигноцеллюлозной биомассы. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии 44: 824–834.
- Xu, F., Li, Y. & Wang, Z-H. 2015. Математическое моделирование твердотельной анаэробной ферментации. Прогресс в области энергетики и горения 51: 49–66.

4.5. Технологии для твердого навоза

4.5.1. Термическая сушка

Цель	Сушка материала до > 90% TS для уменьшения массы, сохранения питательных веществ, гигиенизации и стабилизации материала при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке.
Исходный материал	Твердый навоз, отделенная твердая фракция
Выходы	Сухие продукты, газ
Масштаб	Полный (коммерческий / промышленный)
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Зрелый
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

Термическая сушка навоза или твердых частиц, отделенных от жидкого навоза / дигестата, направлена на стабилизацию удобрения, снижение его общего веса и повышение концентрации питательных веществ. Общее содержание твердых веществ в конечном продукте может достигать 95%. Преимущества этой технологии заключаются в уменьшении объема для транспортировки и хранения, улучшении продаж и эффективном уничтожении патогенов. Проблемы включают высокие инвестиционные затраты, высокие потребности в энергии и потери азота. При сушке также образуются побочные продукты, такие как газовая фракция (содержащая пыль, аммиак и летучие вещества) и сточные воды (содержащие аммиак), которые требуют соответствующей утилизации.

Для улавливания летучего азота, сушильная система может быть оборудована азотным скруббером, производящим богатый азотом продукт, например нитрат аммония. Другой вариант - подкисление навоза перед сушкой, чтобы сохранить азот во время процесса. Сушка может сопровождаться процессом гранулирования, при котором высушенное удобрение гранулируется до определенного размера, чтобы сделать продукт более легким для транспортировки и распределения по полю. Для сушки можно использовать следующие методы: контактные / конвекционные технологии, такие как ленточные, барабанные и мгновенные сушилки; токопроводящие технологии, такие как дисковые, лопастные и тонкопленочные сушилки. Дополнительно были внедрены солнечная сушка и лиофилизация, а также сушка перегретым паром с осадком сточных вод. Инфракрасная сушка также была разработана.

Таблица 7. Технологии для термической сушки навоза

	Дисковая сушилка (контактная / конвекционная сушка)	Барабанная / ленточная сушилка (конвекционная сушка)	Флэш сушилка (конвекционная сушка)
Описание	Нагревание поверхности сушилки передает тепло материалу. Образуется меньше выхлопных газов. Возможен перегрев и неравномерный нагрев материала.	Сушка при прямом контакте с горячим воздухом (60–150 ° C) в течение прибл. 2 часа на ленточных конвейерах или барабанах. В барабанных системах материал контактирует с горячим воздухом за счет вращения в барабане. Достигнуто высокое содержание сухого вещества. Может использовать теплообменники и дымовые газы. Высокое пылеобразование. Длительное время высыхания. Для усиления испарения воды необходима большая контактная поверхность.	Требуется меньше места и простая конструкция
Эффективность преобразования	В высушенном продукте остается 5-20% веса и 100% P. Извлечение P зависит от обработки дымового газа / конденсата.		
Потребление энергии	800–900 кВтч/т испаренной воды	700–1100 кВтч/т испаренной воды	1200–1400 кВтч/т испаренной воды
Реагенты	Например, серная кислота может использоваться для контроля выбросов аммиака.		
Скорость процесса	7–35 кг / м ² / ч	30 кг / м ² / ч	0.2 кг / м ² / ч
Запах	Пар и запахи ограничены	Запах	Запах
Инвестиционные затраты	300000 евро за сушилку, обрабатывающую 30 м ³ дигестата в день		Выше по сравнению с ременной и дисковой системами
Операционные затраты	5.81 €/м ³		

Затраты оцениваются на основе Bolzonella et al. 2018.

Конечные продукты как удобрения

Сушеный навоз имеет твердую порошкообразную форму с содержанием TS 60–95% и может храниться в силосах. Содержание P высокое (4-35 г P / кг в зависимости от

сырья). Содержание N может быть очень близким к содержанию P, но его растворимость незначительна из-за улетучивания аммиака и удержания только органического азота. Сушеные удобрения могут потребовать дополнительной обработки гранулированием или пелетизацией для получения товарного продукта, с которым будет проще работать и распределять. Использование пылящих удобрений требует специальной техники.

В зависимости от температуры сушки растворимость P может увеличиваться. В полевых испытаниях сухие гранулированные удобрения навоза продемонстрировали такую же удобрительную ценность, как и минеральные удобрения P.

Воздействие на окружающую среду

Поскольку дымовой газ из сушилки содержит пыль, аммиак и другие летучие вещества (например, летучие кислоты), для снижения выбросов следует использовать системы очистки дымовых газов. Такие системы включают пылевой фильтр и скруббер. Чтобы восстановить летучий азот, необходимо промыть дымовой газ.

Термическая сушка обеспечивает эффективную гигиену и частичное удаление органических примесей (в зависимости от температуры). Для эффективного контроля над болезнетворными микроорганизмами температура должна быть повышена как минимум до 80 °C на 10 минут, а содержание влаги должно быть уменьшено до менее 10%. Из-за уменьшения содержания воды в конечном продукте концентрируются нелетучие микроэлементы.

Пример: Fertilex, Финляндия

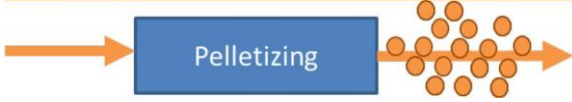
Fertilex - это предприятие по переработке птичьего помета в Мынямяки, Финляндия. Перерабатывающий завод расположен на территории птицефабрики мощностью 300 000 кур-несушек и производительностью около 12 000 т навоза в год. В системе переработки навоза Fertilex твердый навоз из животноводческих помещений сушится, гранулируется и дезинфицируется. Полученный продукт затем упаковывается и продается как удобрение. Технологическое оборудование поставлено голландской группой Dorset.

Предполагаемый годовой объем производства гранулированного продукта составляет около 4000 тонн. В процессе сушки используется избыточное тепло от животноводческих помещений и, при необходимости, энергия от производства тепла на основе древесины. Целью переработки навоза является снижение потребности в транспортировке навоза, облегчение обработки навоза и сокращение выбросов аммиака.

Ссылка

- Dail, H.W., He, Z., Erich, M.S. & Hoenycott, C.W. 2007. Влияние сушки на распределение фосфора в птичьем помете. Коммуникации в области почвоведения и анализа растений 38: 1879–1895.
- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Восстановление питательных веществ из анаэробного дигестата агроотходов: технико-экономическая оценка полного масштаба применения. Журнал экологического менеджмента 216: 111–119.
- Carrington, E. G. 2001. Оценка обработки осадка с точки зрения снижения количества патогенов, окончательный отчет. Контракт на исследование № B4-3040 / 2001/322179 / MAR / A2 для Директората Европейской комиссии - общая среда.
- GIZ 2019. Дигестат как удобрение. Применение, обновление и маркетинг. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Bennamoun, L., Arlabosse, P. & Léonard, A. 2013. Обзор основных аспектов применения процесса сушки осадка сточных вод. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии 28: 29–43.
- Kuligowski, K., Poulsen, T.G., Rubaek, G.H. & Sørensen, P. 2010. Доступность для растений фосфора, содержащегося в золе термически обработанного навоза, для ячменя по сравнению с другими материалами на основе навоза и коммерческими удобрениями. Европейский журнал агрономии 33: 293–303.

4.5.2. Пеллетирование / гранулирование

Цель	Для увеличения плотности продукта и получения товарного и легко обрабатываемого продукта из высушенного навоза.
Исходный материал	Твердый навоз, сухой твердый навоз, высушенная твердая фракция, зола
Выходы	Пеллеты / гранулы
Масштаб	Большой
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Промышленный/ коммерческий
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Фермеры и региональный уровень

Перед гранулированием или пеллетированием навоз должен быть либо осушен путем разделения твердой и жидкой фракций (навоз, см. 4.1), либо термически высушен (навоз, см. 4.5.1).

Процесс гранулирования обычно состоит из измельчения, сушки и просеивания для получения гранул одинакового размера. Во время гранулирования материал продавливается через фильеру с отверстиями желаемой формы и размера. Сжатие пеллет и температура являются основными факторами, влияющими на процесс и качество конечного продукта.

Конечные продукты как удобрения

TS и содержание питательных веществ в гранулированном или баллотированном навозе аналогичны сухому навозу, но плотность увеличивается. Пеллетированные / гранулированные продукты подходят для внесения на том же оборудовании, что и минеральные удобрения.

Эффект удобрения фосфором гранулированным лисьим навоза несколько лучше, чем эффект компостированного лисьего навоза. Частично это может быть связано с концентрированием партий фосфора в почве, что улучшает доступность фосфора по сравнению с ситуацией, когда компост более разбавлен в объеме почвы.

Воздействие на окружающую среду

Во время процесса существует риск выбросов пыли, если выхлопные газы не рекуперированы или не фильтруются. При этом пыль может рециркулировать.

Таблица 8. Технологии пеллетирования и гранулирования навоза.

	Пеллетирование	Гранулирование (диск / барабан)
Описание	Предварительно высушенный навоз проталкивается или продавливается через матрицы под высоким давлением. Из-за высокой температуры поверхность пеллет плавится и образует блестящий налет.	Твердая фракция навоза (TS 20–40%) смешивается, просеивается и гранулируется. В дисковом грануляторе наклонный вращающийся поддон способствует зарождению и формированию сферических гранул одинакового размера. На размер гранул может влиять вращение чаши и скорость подачи помола. После гранулирования гранулы термически сушатся и просеиваются.
Эффективность преобразования	Увеличивает объемную плотность более сухого материала с 250–350 кг / м ³ до более 700 кг / м ³ .	Если предусмотрена сушка, уменьшение содержания воды. В противном случае навозная масса и питательные вещества останутся в гранулированном продукте.
Потребление энергии	30–50 кВтч / т	
Реагенты	Для связывания материала можно использовать воду. Также можно добавлять питательные вещества, чтобы сбалансировать соотношение NPK в продукте.	Можно использовать связующие вещества. Также можно добавлять питательные вещества, чтобы сбалансировать соотношение NPK в продукте.
Контроль процесса	Качество пеллет / гранул необходимо контролировать, чтобы производить однородные продукты.	
Запаховые факторы	Пыль и газовые фракции улавливаются, чтобы уменьшить запахи.	
Инвестиционные затраты	-	1,0–1,3 миллиона долларов на обработку навоза от 21000–23000 коров (стоимость без учета затрат на оборудование для сепарации навоза) (890–1160000 евро, ~ 45 евро на корову)
Положение	В сочетании с сушилкой для удобрений можно оптимизировать размер установки.	

Затраты оцениваются на основе Shahara et al. 2018.

Пример: Fertikal, Антверпен, Бельгия

Fertikal в бельгийском порту Антверпен собирает органические материалы на расстоянии до 150 км, в том числе 18 000 тонн дигестата с биогазовых установок, 200 000 тонн различных видов навоза (птица, твердые фракции навоза крупного рогатого скота и навоз свиней), 60 000 тонн другого вторичного сырья (побочные продукты пищевой и кормовой промышленности) и вторичное сырье (например, струвит). Fertikal производит 200 000 тонн компоста, смешивая сырье, чтобы получить оптимальное соотношение NPK для различных культур. Конечные продукты - гранулы и крошка - производятся методом экструзии в количестве 75 000 тонн в год. Пеллеты (ширина 3-5 мм, длина 10 мм) подходят для полевых и садовых культур. Крошки (1-3 мм) - это измельченные и просеянные гранулы, которые идеально подходят для точного земледелия, смешивания субстратов, горшечных культур или удобрения газонов. Практически вся продукция идет на экспорт.

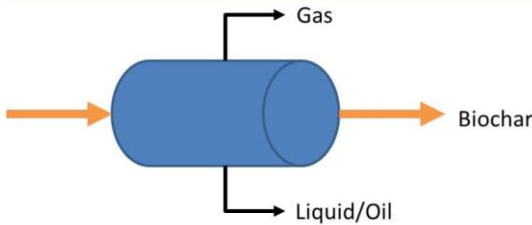
Процесс пеллетирования на Fertikal [www.fertikal.nu]



Ссылки

- Shahara, M.A., Runge, T., Larson, R. & Primm, J.G. 2018. Технико-экономическая оптимизация переработки навоза по месту жительства. Сельскохозяйственные системы 161: 117–123.
- GIZ 2019. Дигестат как удобрение. Применение, обновление и маркетинг. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf

4.5.3. Пиролиз

Цель	Для производства твердого, гигиенизированного биоугля, обогащенного углеродом (содержание C > 50% DM) или углерода (содержание C < 50%) Уменьшение объема навоза и уплотнение Р. Повышение добавленной стоимости за счет использования побочных продуктов.
Исходный материал	Сухой твердый навоз, высушенная твердая фракция
Выходы	Карбонизационная фракция и пиролизные газы и жидкости
Масштаб	Различные стадии разработки (также в зависимости от сырья) от демонстрационной / пилотной установки до промышленных предприятий.
Уровень сложности	От среднего до высокого
Инновационный этап	Различные стадии разработки, от демонстрационной или пилотной установки до промышленных предприятий.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

Пиролиз (карбонизация, термохимическое разложение) - это развитая технология обращения с навозом. Это процесс, в котором биомасса термически разлагается на газообразную (пиролизный газ), жидкую (пиролизную жидкость) и твердую (биоуголь или карбонизированный) фракции в условиях низкого содержания кислорода или в отсутствие кислорода в диапазоне температур 350-700 ° C. в относительно короткие сроки. До 50% веса сырья может переходить в газообразную и жидкую фракции, что значительно снижает потребность в хранении и транспортировке навоза. Пиролиз концентрирует нелетучие соединения, такие как фосфор и калий, в карбонизационной фракции, в то время как летучие соединения, такие как азот, попадают в газообразную и жидкую фракции. Таким образом, большая часть фосфора восстанавливается в карбонизированной твердой фракции.

Конечные продукты как удобрения

Свойства карбонизированной фракции сильно зависят от исходных материалов и условий процесса (например, температуры, скорости нагрева). Таким образом, пиролизированный навоз отличается от, например, пирогуля (биочар) на растительной основе часто более щелочной и богат фосфором и золой. Содержание золы часто превышает 50%, что является предельным значением для использования термина «биочар» согласно европейскому сертификату Биочар. Растворимость Р в пиролизированном навозе ниже, чем в необработанном навозе. Следовательно, необходимо оценить наличие Р в различных пиролизированных навозах, особенно в долгосрочной перспективе. Азот в пиролизированном навозе обычно находится в недоступной форме. Наиболее подходящая технология разбрасывания пиролизированных удобрений и возможные потребности в последующей обработке требуют дальнейших исследований и разработок (например, гранулирование или пеллетизация). В настоящее время пиролизированные удобрения не подпадают под действие нового регламента ЕС по удобрениям (EU / 2019/1009).

Таблица 9. Технологии пиролиза навоза

	Медленный пиролиз	Быстрый пиролиз
Описание	Скорость нагрева 1–100 °С / с, диапазон температур 350–700 °С.	Скорость нагрева > 1000 °С / с и диапазон температур 450–550 °С.
Общее	Подходит для относительно сухих материалов; в противном случае необходима предварительная сушка. Максимизирует выход обугленной фракции.	Подходит для относительно сухих материалов; в противном случае необходима предварительная сушка. Максимизирует выход жидкой фракции.
Эффективность преобразования	Производит 15–40% полукокса, 20–55% жидкой и 20–60% газовой фракции от массы исходного сырья.	Производит 10-30% обугленной, 50-70% жидкой и 5-15% в виде фракции от веса исходного сырья.
Потребление энергии	Энергия, необходимая для предварительной сушки, а также для повышения и поддержания температуры пиролиза. Энергию добываемого газа можно использовать, но этого не всегда достаточно.	
Реагенты	Материалы, не относящиеся к биомассе, могут быть добавлены для катализирования процесса или для изменения пропорций различных продуктов.	
Продолжительность процесса	Время обработки биомассы час.	Время обработки <1 мин.
Запах	Обугленная фракция в большей или меньшей степени не имеет запаха.	
Инвестиционные затраты	Нет информации	

Воздействие на окружающую среду

Чтобы увеличить продолжительность пиролиза, необходимо восстановить азот и утилизировать жидкую фракцию. В настоящее время ведутся исследования возможных применений жидкой фракции. Энергия из газов и жидкостей пиролиза также может быть восстановлена в установке пиролиза для предварительной сушки входящего материала или для нагрева реактора для пиролиза. В заключение, преимущества пиролиза навоза необходимо сравнить с выбросами пиролиза.

Благодаря уменьшению веса и объема первичной биомассы транспортировка и хранение пиролизного навоза становится более экономичной. Связанные с загрязнителями, нелетучие стойкие загрязнители, такие как микроэлементы, концентрируются на углеродной фракции, а патогены уничтожаются. Пиролиз с резкими профилями время-температура обычно более эффективен для органических загрязнителей, хотя некоторые из них более стойкие. Могут образовываться органические загрязнители, такие как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), диоксины и фураны (ПХДД / Ф) и диоксиноподобные полихлорированные бифенилы (dl-ПХБ), хотя их уровни могут быть снижены в процессе пиролиза.

Примеры

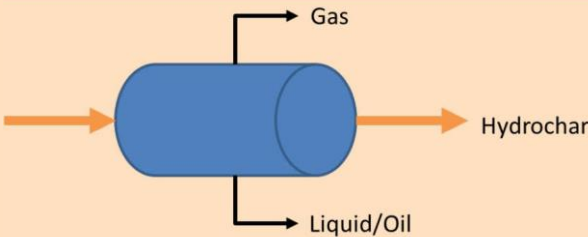
В настоящее время пиролизная промышленность состоит из предприятий с относительно

небольшими объемами. Текущие рынки в Европе относительно невелики, и производство сосредоточено на растительных материалах с низким содержанием Р. Например, в Германии работают компании Pyreg GmbH, Terra Preta e.K., Carbon Terra SPRL и Swiss Biochar GmbH.

Ссылки

- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. & Ro, K. S. 2012. Влияние температуры пиролиза и источника навоза на физико-химические характеристики биочар. Биоресурсные технологии 107: 419–428.
- Cely, P., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J. & Méndez, A. 2015. Агрономические свойства биочаров из различных навозных отходов. Журнал аналитического и прикладного пиролиза 111: 173–182.
- ЕВС 2012. «Европейский сертификат Биочар - Руководство по устойчивому производству биочаров». Европейский фонд Биочар (ЕВС), Арбаз, Швейцария. <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>. Версия 8.2E от 19 Апреля 2019.
- Hoffman, T. C., Zitomer, D.H. & McNamara, P.J. 2016. Пиролиз твердых биологических веществ сточных вод значительно снижает эстрогенность. Журнал опасных материалов 317: 579–584.
- Hübner, T. & Mumme, J. 2015. Интеграция пиролиза и анаэробного сбраживания - Использование водной жидкости от пиролиза дигестата для производства биогаза. Биоресурсные технологии 183: 86–92.
- Huugens, D., Saveyn, H., Tonini, D., Eder, P. & Delgado Sancho, L. 2019. Технические предложения для избранных новых удобрений в соответствии с Регламентом по удобрениям (Регламент (ЕС) 2019/1009), EUR 29841 EN, Бюро публикаций Европейского Союза, Люксембург, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1 (онлайн), 978-92-76-09887-4 (печать), DOI: 10.2760 / 186684 (онлайн), 10.2760 / 551387 (печать), JRC117856.
- Keskinen, R., Hyväluoma, J., Sohlo, L., Help, H. & Rasa, K. 2019. Биочар из навоза бройлеров - удобрение и почвенный кондиционер. Биочар 1: 259–270.
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R. & Rasa, K. 2020. Гранулированное органическое удобрение на основе бройлерного навоза как источник доступного для растений азота. Экологические технологии и инновации 18: 100734.
- Kim, J. H., Ok, Y. S., Choi, G-H. & Park, B-J. 2015. Остаточные перфторхимические соединения в биоуглях из осадка сточных вод. Техническое примечание. Хемосфера 134: 435–437.
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J-E., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H. & Jyske, T. 2019. Каскадная переработка коры хвойных пород с экстракцией горячей водой, пиролизом и анаэробной ферментацией. Биоресурсные технологии 292: 121893.
- Ross, J.J., Zitomer, D.H., Miller, T.R., Weirich, C.A. & McNamara, P.J. 2016. Серия новых исследований: пиролиз удаляет обычные микрокомпоненты триклокарбан, триклозан и нонилфенол из твердых биологических веществ. Наука об окружающей среде Исследования и технологии воды 2: 282–289.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D. & Nichols, K. A. 2012. Биочар: синтез его агрономического воздействия помимо связывания углерода. Журнал качества окружающей среды 41: 973–989.
- Wang, T., Camps Arbestain, M., Hedley, M. & Bishop, P. 2012. Химические и биологические исследования доступности азота в биочарах, полученных из молочного навоза и твердых биологических веществ. Органическая геохимия 51: 45–54.

4.5.4. Гидротермальная карбонизация (НТС)

Цель	Для производства гигиеничного, обогащенного углеродом конечного продукта и уменьшения объема навоза из навозной жижи без необходимости предварительной сушки.
Исходный материал	Жидкий навоз, полутвердый навоз
Выходы	Углеводородные и пиролизные газы и жидкости. Без обезвоживания влажность угля (10–40%) намного выше, чем у пиролизного угля (0–5%).
Уровень сложности	От среднего до высокого.
Инновационный этап	Исследования НТС навоза и навозной жижи продолжаются.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Местный уровень (региональный уровень в случае последующей сушки)

При гидротермальной карбонизации (НТС) переработанная биомасса может иметь более низкое общее содержание твердых веществ по сравнению с пиролизом, поскольку в качестве реакционной среды используется вода. При температурах 125–350 °C и скорости нагрева 5–10 °C / мин вода находится в докритических условиях и действует как слабая кислота и основание. В НТС используются давления от 0,5 до 20 МПа, чтобы избежать испарения воды. O₂ или H₂O₂ могут быть добавлены в качестве окислителя. Конечные продукты представляют собой газообразную, жидкую и углеродсодержащую твердую фракцию (гидроchar), характеристики и распределение которой зависят от условий обработки (температуры и давления). По-прежнему имеется очень ограниченная информация об инвестиционных и эксплуатационных расходах, связанных с жидким навозом НТС, поскольку первые коммерческие установки для обработки жидкого навоза только начали перерабатывать навоз совместно с другими биомассами, такими как осадок сточных вод.

Конечные продукты как удобрения

Из исходной массы сырья НТС превращает 5-40% в твердую фракцию, 20-40% в жидкую фракцию и 2-10% в газообразную фракцию. Как и в случае пиролиза, условия процесса, такие как температура, давление, время пребывания и соотношение воды и биомассы, влияют на характеристики конечных продуктов. Как правило, углеводороды имеют более низкое содержание углерода и золы и немного более низкий pH по сравнению с биоуглеродами. Большая часть фосфора из навоза переходит в углеводороды в виде осаждаемых фосфатных солей, а азот - в водный раствор. Растворимость P в углеводородах на основе навоза может изменяться в зависимости от температуры процесса. Однако была отмечена пониженная растворимость P в бычьем навозе, обработанном НТС. Информация о наличии фосфора в углеводородах на основе навоза для растений все еще ограничена.

Углеводород по-прежнему требует дополнительной обработки (например, термической сушки), чтобы его можно было транспортировать на большие расстояния. Как и в случае пиролизованного навоза, следует оценить наиболее подходящую технологию

разбрасывания, а также возможные потребности после обработки. Имеется очень мало информации об использовании углеводов на основе навоза в сельском хозяйстве. Углеводы в настоящее время не подпадают под действие нового регламента ЕС по удобрениям.

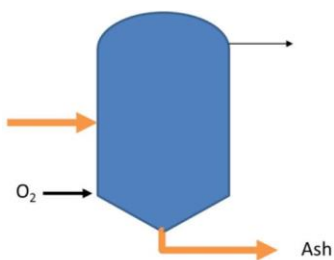
Воздействие на окружающую среду

В целом, процесс НТС может приводить к разложению органических загрязнителей, хотя при низких температурах НТС может иметь более низкие скорости удаления загрязнений, чем пиролиз и его более жесткие условия. Хлорированные ароматизаторы оказались устойчивыми к обработке НТС. В углеводородах могут накапливаться микроэлементы.

Ссылки

- Атлас агротехники. <http://agro-technology-atlas.eu/>
- Dai, L., Tan, F., Wu, B., He, M., Wang, W., Tang, X., Hu, Q. & Zhang, M. 2015. Иммобилизация фосфора в коровьем навозе при гидротермальной карбонизации. Журнал экологического менеджмента 157: 49–53.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M., 2011. Технологии переработки навоза. Технический отчет № II о деятельности по переработке навоза в Европе для Главного управления окружающей среды Европейской комиссии. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., Álvarez, M.L., Saa, A. & Méndez, A. 2018. Биочар и гидрочар, полученные пиролизом и гидротермальной карбонизацией свиного навоза. Управление отходами 79: 395–403.
- Heilmann, S.M., Molde, J.S., Timler, J.G., Wood, B.M., Mikula, A.L., Vozhdayev, G.V., Colosky, E.C., Spokas, K.A. & Valentas, K.J. 2014. Рекультивация фосфора путем гидротермальной карбонизации навоза. Экологическая наука и технологии 48: 10323–10329.
- Huygens, D., Saveyn, H., Tonini, D., Eder, P. & Delgado Sancho, L. 2019. Технические предложения для избранных новых удобрений в соответствии с Регламентом по удобрениям (Регламент (ЕС) 2019/1009), EUR 29841 EN, Бюро публикаций Европейского Союза, Люксембург, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1 (онлайн), 978-92-76-09887-4 (печать), DOI: 10.2760 / 186684 (онлайн), 10.2760 / 551387 (печать), JRC117856.
- Kambo, H.S. & Dutta, A. 2015. Сравнительный обзор биочара и гидрочара с точки зрения производства, физико-химических свойств и применения. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии 45: 359–378.
- Libra, J.A., Ro, K.S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N.D., Neubauer, Y., Titirici, M.-M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J. & Emmerich, K.-H. 2011. Гидротермальная карбонизация остатков биомассы: сравнительный обзор химии, процессов и применения мокрого и сухого пиролиза. Биотопливо 2: 89–124.
- Song, C., Shan, S., Müller, K., Wu, S., Niazi, N.K., Xu, S., Shen, Y., Rinklebe, J., Liu, D. & Wang, H. 2018. Характеристика водорода, полученных из свиного навоза, для их потенциального применения в качестве удобрений. Ресурсы загрязнения окружающей среды 25: 25772–25779.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D. & Nichols, K. A. 2012. Биочар: синтез его агрономического воздействия помимо связывания углерода. Журнал качества окружающей среды 41: 973–989.
- Weiner, B., Baskyr, I., Poerschmann, J. & Kopinke, F.-D. 2013. Потенциал процесса гидротермальной карбонизации для разложения органических загрязнителей. Хемосфера 92: 674–680.
- Zhang, Z., Zhu, Z., Shen, B. & Liu, L. 2019. Понимание производства и применения биочара и гидрочара: обзор. Энергия 171: 581–598.

4.5.5. Горение/Сжигание

Цель	Производство энергии. Эффективное снижение массы сырья.
Исходный материал	Твердый навоз, твердые фракции, сушеный навоз
Выходы	Зола, тепло
Масштаб	Полный (масштабируемый)
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Зрелая технология переработки бытовых отходов и осадка сточных вод. Используется для переработки навоза.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

Во время горения биомасса окисляется в присутствии кислорода для выработки энергии и значительного уменьшения массы обрабатываемой биомассы. Температура горения обычно превышает 900 ° C. Вырабатываемая тепловая энергия может быть преобразована в электричество с помощью парогенератора и турбины. Сырье должно быть относительно сухим ($TS > 70\%$) для достижения достаточной энергоэффективности, и обычно требуется предварительная обработка термической сушкой. Доступны несколько технологий сжигания, например, решетчатый слой и вращающийся барабан реакторов с псевдоожиженным слоем. На всех сжигательных установках должна использоваться эффективная очистка дымовых газов. Существует несколько технологий для извлечения фосфора из золы сгорания. Эти технологии пока используются не с навозом, а с золой от сжигания осадка сточных вод.

Технология наиболее подходит для централизованной обработки больших объемов. Заявленные затраты на оборудование электростанции по сжиганию птичьего помета составили 6,27 миллиона евро для электростанции мощностью 21,5 МВт и мощностью 2 т / ч и 20,7 миллиона евро для электростанции 6 МВт мощностью 6 т / ч.

Конечные продукты как удобрения

Во время горения достигается снижение веса более чем на 70%, а конечный продукт имеет $TS > 80\%$. Во время процесса азот полностью испаряется, но фосфор остается в золе (50–110 г P / кг). Более высокая энергоэффективность достигается при использовании сухого сырья, но также могут использоваться материалы с более высоким содержанием воды. Растворимость P снижается, снижая удобрительную ценность золы, что также не рекомендуется в качестве стартового удобрения P. Зола может быть использована как таковая для удобрения или переработана в пеллеты или гранулы. Продукт следует хранить в сухих условиях, чтобы влага не влияла на качество золы.

Воздействие на окружающую среду

Существует опасность выброса выхлопных газов. Во время сгорания азот в основном превращается в N_2 , но необходимо выполнять последующие этапы восстановления азота, чтобы гарантировать его восстановление.

Сжигание не снижает концентрации нелетучих микроэлементов, но увеличивает их по сравнению с потерей массы субстрата. Оставшаяся зола, скорее всего, требует дальнейшей обработки. Удаляются антибиотики и большинство других органических загрязнителей. Предполагается, что термическая обработка органических материалов при высоких температурах (850–950 °C) в значительной степени разрушает органические загрязнители. Из-за суровых условий процесса болезнетворные микроорганизмы уничтожаются.

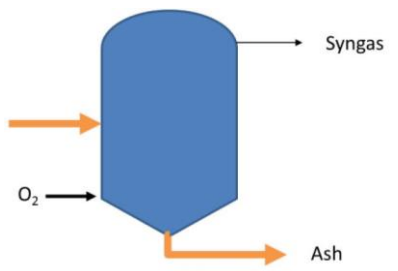
Пример из практики: Fortum Horse Power, Финляндия

Скандинавская энергетическая компания Fortum разработала концепцию использования конского навоза и управления им путем совместного сжигания. Fortum предлагает услуги по переработке подстилки и навоза для конюшен в Финляндии и Швеции (на момент написания статьи в 260 конюшнях содержалось 4300 лошадей). Подстилка состоит из боковых потоков от деревообрабатывающей промышленности, которые доставляются в конюшни. Навоз и использованная подстилка вывозятся из конюшен на ТЭЦ Fortum для производства электроэнергии и тепла. Эта концепция зародилась как пилотный проект в Ярвенпяя, Финляндия, но с тех пор распространилась на другие заводы совместного сжигания Fortum по всей Финляндии. Согласно расчетам Fortum, конский навоз имеет энергетическую ценность около 0,6 МВтч / м³, а две лошади производят навоз, достаточный для обогрева одного семейного дома в течение года в скандинавских условиях.

Ссылки

- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Загрязнение источников органических питательных веществ потенциально токсичными элементами, антибиотиками и патогенными микроорганизмами в связи с потенциалом удобрений Р и вариантами обработки для производства экологически чистых удобрений: обзор. Наука об окружающей среде в целом 607–608: 225–242.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M., 2011. Технологии переработки навоза. Технический отчет № II о деятельности по переработке навоза в Европе для Главного управления окружающей среды Европейской комиссии. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Kuligowski, K., Poulsen, T.G., Rubaek, G.H. & Sørensen, P. 2010. Доступность для растений фосфора, содержащегося в золе термически обработанного навоза, для ячменя по сравнению с другими материалами на основе навоза и коммерческими удобрениями. Европейский журнал агрономии 33: 293–303.
- Lindberg D., Molin C. & Hupa M. 2015. Термическая обработка твердых остатков от установок ПОЭ: обзор. Управление отходами 37: 82–94.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2019. К прорыву в переработке питательных веществ. Исследования природных ресурсов и биоэкономики. Институт природных ресурсов Финляндии (Люк), Хельсинки. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-578-3>
- Wiechmann B, Dienemann C, Kabbe C, Brandt S, Vogel I, et al. 2013. Управление осадком сточных вод в Германии, Umweltbundesamt (UBA), Германия. Скачать с: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/sewage_sludge_management_in_germany.pdf.

4.5.6. Газификация

Цель	Производство синтезированного газа путем частичного окисления.
Исходный материал	Твердый навоз, твердые фракции, сушеный навоз
Выходы	Зола, газ, жидкость
Масштаб	Полный (масштабируемый)
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Зрелая технология для обработки бытовых отходов и осадка сточных вод.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

Газификация - это термический процесс, при котором биомасса преобразуется в оксид углерода, диоксид углерода и метан, то есть синтезированный газ, в условиях низкого содержания кислорода. Температура процесса высокая, > 700 ° C. Кислород, воздух или пар вводятся в камеру сгорания для частичного окисления. Требуется высокое содержание твердых веществ в сырье (TS > 70%). Состав сырья влияет на условия процесса, поэтому качество сырья должно быть постоянным.

Инвестиции в переработку птичьего помета на установке по газификации производительностью 100 т / сутки составили 2,7 миллиона евро, стоимость оборудования - 900 000 евро, а эксплуатационные расходы - 1,76 миллиона евро.

Конечные продукты как удобрения

Полученная зола имеет очень низкий вес по сравнению с исходным внесенным навозом. Фосфор из навоза остается в золе, а азот испаряется, если он не будет восстановлен на последующей стадии сушки. Зола является удобрением Р, но газификация снижает растворимость Р и, таким образом, снижает его ценность как удобрения. Зола может быть использована как таковая для удобрений или переработана в пеллеты или гранулы. Продукт следует хранить в сухих условиях, чтобы влага не влияла на качество золы.

Воздействие на окружающую среду

Риск выбросов от газификации ниже по сравнению с традиционным сжиганием. При газификации существует опасность образования соединений ПАУ.

Необходимо рассмотреть возможность регулирования и восстановления азота в цепочке обработки.

Следует эффективно перерабатывать продезинфицированный навоз и удалять вредные органические соединения, но при этом микроэлементы могут концентрироваться в золе.

Пример из практики: Agro America, Нидерланды

Компания Agro America в Нидерландах разработала переработку свиного навоза для уменьшения региональных излишков навоза. Первым шагом в технологической цепочке является разделение навозной жижи на твердую и жидкую фракции. Фосфор извлекается из твердой фракции путем газификации. Богатый фосфатами, твердый, похожий на уголь материал можно использовать в качестве улучшения почвы в районах, где фосфаты действительно необходимы. Кроме того, процесс также включает очистку жидкой фракции мембранами и выпаривание для очистки воды и восстановления азота и калия.

Photo: www.rvomagazines.nl/miavamil/2017/01/taj-willems-agro-america-bv



Ссылки

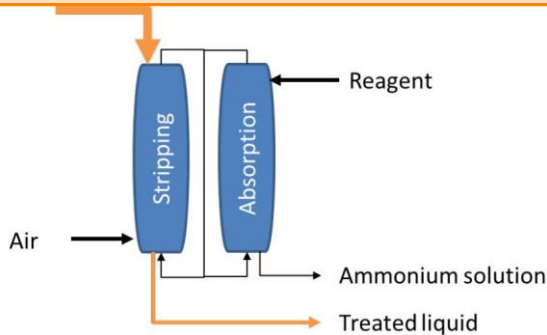
Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011.

Технологии переработки навоза. Технический отчет № II о деятельности по переработке навоза в Европе для Главного управления окружающей среды Европейской комиссии. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2019. К прорыву в переработке питательных веществ. Исследования природных ресурсов и биоэкономики. Институт природных ресурсов Финляндии (Люк), Хельсинки. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-578-3>

4.6. Технологии восстановления питательных веществ из жидких фракций

4.6.1. Стриппирование аммиака

Цель	Восстановление аммиачного азота в виде аммиака из жидких фракций и производство неорганических удобрений.
Исходный материал	Жидкая фракция (дигестат, воздух)
Выходы	Например, сульфат аммония, очищенная жидкость / сбросная вода
Масштаб	Полный
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Зрелая технология очистки сточных вод, некоторые полномасштабные процессы, связанные с переработкой навоза
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Фермерский и региональный уровень

При удалении аммиака аммиачный азот превращается в газообразный аммиак путем продувки воздухом через поток жидкости в отпарной камере. Летучесть аммиака повышается за счет повышения температуры (до 80 ° C) и pH (до 10). Затем газообразный аммиак абсорбируется кислым раствором в скруббере с получением богатого аммонием конечного продукта. Обычно используемые кислотные фракции представляют собой серную кислоту, которая образует сульфат аммония, но также можно использовать азотную кислоту для получения нитрата аммония. Другой метод очистки от аммиака заключается в использовании более высоких температур для образования пара. В этом процессе аммиак непосредственно конденсируется с водяным паром с образованием аммиачной воды, и промывная камера не требуется. Удаление аммиака можно также использовать для снижения концентрации аммиака в дигестате биогазовых установок и для улавливания аммиака из животноводческих помещений.

Тепло, необходимое для процесса удаления, потенциально может быть получено из избыточного тепла в биогазовой установке, а снижение pH также может быть достигнуто за счет предварительного удаления CO₂ для снижения требуемой буферной емкости. Стрипперы обычно набиваются наполнительным материалом, чтобы обеспечить достаточный массообмен между газом и жидкостью.

Для обеспечения работы отпарной камеры обрабатываемая жидкая фракция не должна содержать твердых частиц, чтобы предотвратить засорение наполненной камеры. Очистка камер требует химикатов и трудовых затрат.

Таблица 10. Технологии отпарки аммиака из жидких фракций навоза.

	Удаление воздуха	Отгонка паром / выпаривание
Описание	Использование воздуха для удаления аммиака из жидкости при 40–80 ° С. Использование скруббера для извлечения аммиака, например в виде сульфата аммония.	Использование пара воздуха (> 100 ° С) для удаления аммиака из жидкости. Аммиак восстанавливается с конденсатом пара в виде водно-аммиачной смеси.
Эффективность преобразования	70–99 % of NH ₄ -N в продукте	
Потребление энергии	Низкое потребление энергии по сравнению с отгонкой паром / выпариванием.	Более высокая потребность в тепле из-за более высокой температуры процесса по сравнению с воздушной десорбцией.
	Мощность: 2–10 кВтч / м ³ на входе Тепло: 45–100 кВтч / м ³ на входе	
Реагенты	Использование Реагентов для снижения pH и очистки аммиаком. Повышенная потребность в снижении pH по сравнению с отгонкой паром / выпариванием.	Реагент для понижения pH. Реагент для скраббинга не использовался.
	95–97% серная кислота 7–10 кг / м ³ и NaOH 6–6,5 кг / м ³ (для жидкой фракции дигестата).	
Продолжительность процесса	Партия/Непрерывный	Партия/Непрерывный
Контроль процесса	Обе технологии требуют активного контроля и обслуживания.	
Инвестиционные затраты	750 000 евро за систему, обрабатывающую 100 м ³ дигестата в сутки.	-
Общие затраты	5,44–8 € / м ³	-
Труд	Необходимость регулярного обслуживания и чистки. Стрипперы склонны к загрязнению из-за частиц в потоке отпарной жидкости.	
Положение	Возможна отгонная камера CO ₂ + отпарная камера аммиака + аммиачный скруббер.	Меньшая занимаемая площадь, поскольку не требуется скрубберная колонна.

Затраты рассчитаны на основе Bolzonella et al. 2012 and Vaneeckhaute et al. 2017.

Конечные продукты как удобрения

Конечные продукты отгонки аммиака зависят от используемого промывочного раствора. Если используется вода, образуется мягкий раствор аммония. Серная кислота образует жидкое удобрение на основе сульфата аммония с содержанием около 2–11% N. При промывке азотной кислотой получается раствор нитрата аммония,

содержащий 13–20% N. Кислота обычно не используется в качестве чистящего средства.

И сульфат аммония, и нитрат аммония можно использовать в качестве минеральных удобрений. Весь азот минерализован, и в нем нет P или K. Использование азотной кислоты увеличивает содержание N в конечном продукте, в то время как серная кислота добавляет серу, которая также может служить микроэлементом. Низкий уровень pH сульфата аммония может вызвать коррозию оборудования для разлива, а также отрицательно влияет на посе́вы, но снижает улетучивание аммиака во время хранения и разбрасывания. Хранение и распределение водно-аммиачного раствора требует предотвращения улетучивания аммиака. Хранение этих удобрений требует безопасного обращения.

Вторичный продукт отгонки аммиака - это разбавленные сточные воды без органических N, P и K. Эту жидкость можно использовать для внесения удобрений на месте или подвергнуть дальнейшей переработке.

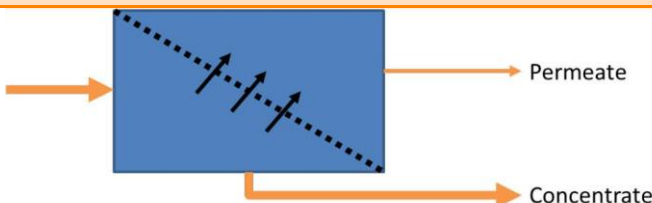
Воздействие на окружающую среду

Удаление аммиака создает риск улетучивания и выделения аммиака во время обработки и технического обслуживания системы. В зависимости от конечных продуктов существует также риск выбросов аммиака во время хранения и разбрасывания (в основном, водный аммиак).

Ссылки

- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Восстановление питательных веществ из анаэробного дигестата агроотходов: технико-экономическая оценка полномасштабного применения. Журнал экологического менеджмента 216: 111–119.
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Восстановление питательных веществ путем переработки дигестата биогаза. МЭА Биоэнергетика. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf
- Sigurnjak, I., Brienza, C., Snauwaert, E., De Dobbelaere, A., De Mey, J., Vaneechaute, C., Michels, E., Schoumans, O., Adani, F. & Meers, E. 2019. Производство и производство минеральных удобрений на биологической основе из сельскохозяйственных отходов по технологии аммиачной очистки. Управление отходами 89: 265–274.
- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Применение, обновление и маркетинг. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Восстановление питательных веществ из дигестата: систематический обзор технологий и классификация продуктов. Валоризация отходов биомассы 8: 21–40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B., 2015. Производство аммиачных удобрений из навоза: критический обзор. Критические обзоры в науке об окружающей среде и технологиях 45: 1469–1521.

4.6.2. Мембранное разделение

Цель	Для удаления воды и концентрации питательных веществ.
Исходный материал	Жидкая фракция
Выходы	Концентрат, пермеат
Масштаб	Масштабирует
Уровень сложности	Умеренный
Инновационный этап	Применяется для очистки сточных вод, только несколько полномасштабных решений по переработке навоза.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	<u>Региональный уровень</u>

При мембранном разделении с контролируемым давлением жидкость проходит через мембрану, причем разделение основывается на размере пор и приложенном давлении или растворении на мембране и скорости диффузии. Частицы, захваченные мембраной, образуют концентрат, а вода и ионы, проходящие через мембрану, образуют пермеат. Мембраны состоят из полимеров или керамики, известно, что керамические мембраны выдерживают и жесткую химическую очистку. Мембранные модули могут быть из капиллярных волокон, плоских листов, трубчатых или спирально свернутых.

Мембранные технологии делятся на четыре категории в зависимости от размера пор. В частности, микрофильтрация (MF), а также ультрафильтрация (UF) в основном используются в качестве предварительной обработки для удаления твердых частиц из потока жидкости. Эффективное восстановление питательных веществ возможно благодаря нанофильтрации (NF) и обратному осмосу (RO). Обратный осмос может восстанавливать аммонийный азот, и этому может способствовать снижение pH. При мембранной фильтрации увеличение давления увеличивает эффективность разделения. С повышением температуры поток очищенной воды увеличивается, что приводит к уменьшению размера перерабатывающей установки. Однако повышение температуры также может привести к потере аммиака.

Мембраны обычно накладывают последовательно, в т.ч. NF + RO, где RO может иметь несколько ступеней. Предварительная обработка поступающей жидкой фракции необходима, поскольку UF, NF и RO очень чувствительны к твердым частицам. Твердые частицы вызывают засорение и загрязнение мембран и увеличивают потребление воды, энергии и химикатов.

Конечные продукты как удобрения

Производимые концентраты жидкие с содержанием TS до 15%. Концентрация азота может быть относительно высокой (2-20 г N / кг) в зависимости от характеристик жидкого сырья и предшествующих стадий процесса, но содержание фосфора обычно ниже (до 1 г P / кг) из-за истощения фосфора во время предшествующего разделения твердое тело - жидкость.

Эти материалы следует хранить в герметичных контейнерах, чтобы предотвратить выбросы аммиака. Мембраны способны удалять даже вирусы из потока воды, но обычно предназначены для восстановления питательных веществ. В продукте могут быть другие вредные соединения и соли.

Вторичный продукт, пермеат, имеет очень низкую концентрацию питательных веществ и обычно не имеет ценности в качестве удобрения. Пермеат обычно используется в качестве технологической воды, необходимой на перерабатывающем предприятии или очищенной, среди прочего. RO для производства чистой воды, сбрасываемой в окружающую среду.

Таблица 11. Технологии мембранного разделения навоза.

	Микрофилтрация	Ультрафилтрация	Наночилтрация	Обратный осмос
Описание	Размер пор 0,05–10 мкм для удержания частиц, взвешенных твердых частиц и бактерий. Давление 0,1–2 бар. Используется в качестве предварительной обработки для удаления твердых и органических веществ.	Размер пор 0,01–0,05 мкм для удержания взвешенных твердых частиц, коллоидов, масляных эмульсий, ферментов и вирусов. Давление 1–5 бар.	Размер пор 0,001–0,01 мкм для удержания коллоидов, ферментов, поверхностно-активных веществ, ионов металлов и растворенных солей. Давление 5–20 бар.	Размер пор 0,0005–0,005 мкм для удержания ионов металлов и растворенных солей (например, NH4). Давление 10–100 бар.
Эффективность преобразования	Эффективное отделение твердых частиц.	-	-	90–100% TS, 96–100% N, 70–95% P
Потребление энергии		От 0,2–1 до 8,8 кВтч / м3	0,7–2 кВтч / м3	1.5–10 kWh/m³
Реагенты	Да, для чистки (кислоты, щелочь).		Да, для очистки (кислоты, щелочи) и контроля pH. Восстановление аммиака увеличивается за счет снижения pH.	
Продолжительность процесса	Непрерывный, можно применять несколько этапов.			
Контроль процесса	Требуется немного меньше очистки по сравнению с NF и RO.		Требуется ухода и очистки.	
Инвестиционные затраты	Более 1 миллиона евро для системы УФ + обратного осмоса с производительностью м3 / день.			
Операционные затраты	1–13 € / м3			

Затраты на основе Bolzonella et al. 2012, Vaneckhaute et al. 2017 and <http://agro-technology-atlas.eu/>

Воздействие на окружающую среду

Никаких выбросов от процесса. Необходимо отметить обработку и управление пермеатом.

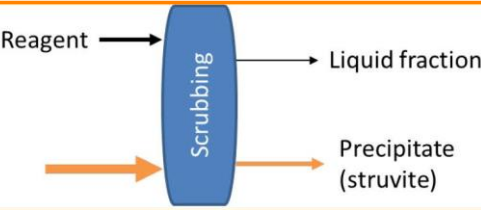
Ссылки

- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Восстановление питательных веществ из анаэробного дигестата агроотходов: технико-экономическая оценка полномасштабного применения. Журнал экологического менеджмента 216: 111–119.
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Восстановление питательных веществ путем переработки дигестата биогаза. МЭА Биоэнергетика.

http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf

- Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Извлечение питательных веществ из дигестата: систематический обзор технологий и классификация продуктов Валоризация отходов биомассы 8: 21–40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B., 2015. Производство аммиачных удобрений из навоза: критический обзор. Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологий 45: 1469–1521.
- Mehta, C.M., Khunjar, W.O., Nguyen, V., Tait, S. & Batstone, D.J., 2015. Технологии восстановления питательных веществ из потоков отходов: критический обзор. Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологий 45: 385–427.

4.6.3. Осаждение струвита

Цель	Восстановление фосфора и аммонийного азота в качестве твердого удобрения (фосфат магния-аммония)
Исходный материал	Навозная жижа, дигестат, жидкая фракция
Выходы	Струвит, удаление воды
Масштаб	Полный (обычно только в промышленных масштабах)
Уровень сложности	Умеренный
Инновационный этап	Зрелая технология очистки сточных вод, несколько полномасштабных процессов переработки навоза.
Общая схема	
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

Осаждение и кристаллизация струвита (MAP, фосфат магния-аммония) из жидкой фракции или суспензий на основе навоза может происходить в резервуарах с мешалкой или в реакторах с псевдоожиженным слоем. РН процесса поддерживается в пределах 8,3-10 с добавлением NaOH. Mg, а в некоторых случаях P даже, добавляют для поддержания соотношения питательных веществ 1,3: 1: 0,9 для Mg: N: P, если аммиак в избытке. Отделение кристаллов струвита может происходить непрерывно снизу реактора или отделяться центрифугой за пределами реактора. Осаждение струвита может удалить 80–90% растворимого P в обработанной жидкой фракции и 10–40% NH₄-N. При осаждении струвита из навоза может быть трудно получить кристаллы подходящего размера для разделения. Потребление электроэнергии от струвитных осадков оценивается в 0,8 кВтч / м³ введенного объема.

Другой вариант - осаждение P в виде других кристаллов, таких как K-струвит, или фосфатов кальция, таких как гидроксиапатит или брусит. Чтобы избежать образования и осаждения карбоната кальция, необходима отгонка CO₂. Эффективность удаления P при производстве фосфата кальция может достигать 100%, но чаще составляет 50-60%. Осаждение кальция или других фосфатов также может быть нежелательным явлением во время осаждения струвитов.

Были замечены проблемы с использованием химикатов и поддержанием стабильного процесса и стабильного качества продукта с осаждением питательных веществ. Процесс очень специфичен и зависит от места установки из-за различных свойств входных жидкостей. Ненадлежащие дозы могут повлиять на осаждение струвитов и снизить выход процесса. Высокие затраты связаны с расходом химикатов (Mg, NaOH) и начальными инвестициями. Установка по производству струвита на очистных сооружениях может стоить 1,4 миллиона евро, а эксплуатационные расходы - 0,2-0,3 € / м³ дигестата. Для экспериментальной установки по переработке навоза расчетная стоимость реактора кристаллизации составила 4,85-7,25 евро / м³ (в упрощенном варианте - 2,41-3,62 евро / м³).

Конечные продукты как удобрения

Струвит - хорошее удобрение с более высоким содержанием NH₄-N и P по сравнению с навозом и жидким навозом (TS 60–100%, P 60–130 г / кг, N 30–60 г / кг), а также

содержит Mg в качестве питательного микроэлемента. Его компактная кристаллическая форма позволяет хранить и распределять, как минеральные удобрения. Размер частиц конечного продукта может составлять 0,5-5 мм в зависимости от схемы процесса и желаемого конечного использования.

Струвит медленно выделяет азот и фосфор. Доступность фосфора для сельскохозяйственных культур была сопоставима с доступностью суперфосфата.

Оставшийся поток жидкости разбавлен и может содержать органический и растворимый азот, фосфор и калий, и его переработка и управление им должны быть приняты во внимание при планировании осаждения струвита из жидких фракций на основе навоза.

Воздействие на окружающую среду

Выбросы из реактора отсутствуют, но существует риск улетучивания аммиака при повышенном pH.

Струвит, выпавший в осадок после обезвоживания, имеет низкую концентрацию микроэлементов. Отмечен также низкий уровень антибиотиков. В целом загрязнение струвита органическими примесями невелико, поскольку более 98% из них остаются в растворе, если процесс оптимизирован.

Как и при отгонке (стриппирование), органические загрязнители и другие вредные соединения не связаны химически с основным питательным веществом (струвитом), но остаются в потоке отходов. В зависимости от предыдущих этапов обработки полученные кристаллы струвита также могут нуждаться в гигиенизации.

Ссылки

- Bloem, E. & Lehmann, L. 2016. Отчет о загрязнении богатых фтором отходов органическими ксенобиотиками. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Доступно: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- GIZ 2019 Дигестат как удобрение. Применение, обновление и маркетинг. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Восстановление питательных веществ путем переработки дигестата биогаза. МЭА Биоэнергетика. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf
- Ronteltap M., Maurer M. & Gujer W. 2007. Поведение фармацевтических препаратов и тяжелых металлов при выпадении струвитных осадков в моче. Водные исследования 41: 1859–1868.
- Sarvi, M., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2017. Отчет о соответствии переработанного продукта действующим правилам ЕС по удобрениям. BONUS PROMISE deliverable 3.3. 11p
- Vaneeckhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Извлечение питательных веществ из дигестата: систематический обзор технологий и классификация продуктов Валоризация отходов биомассы 8: 21-40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B. 2015. Производство аммиачных удобрений из навоза: критический обзор. Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологий 45: 1469–1521.
- Mehta, C.M., Khunjar, W.O., Nguyen, V., Tait, S. & Batstone, D.J. 2015. Технологии восстановления питательных веществ из потоков отходов: критический обзор. Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологий 45: 385–427.

4.6.4. Вакуумное выпаривание

Цель	Для удаления воды и концентрата питательных веществ, содержащихся в концентрате.
Исходный материал	Жидкая фракция
Выходы	Концентрат, конденсат / сточные воды)
Масштаб	Промышленный (масштабный)
Уровень сложности	Сложный
Инновационный этап	Зрелый
Вклад в переработку питательных веществ	Региональный уровень

При вакуумном выпаривании жидкая фракция концентрируется под отрицательным давлением в закрытом сосуде с образованием обогащенного питательными веществами концентрата, который также содержит все остаточные твердые вещества из жидкости. Переработанная жидкость диспергируется на внутренней поверхности испарителя, который нагревается. В условиях вакуума температура кипения воды понижается до 40–75 °C.

Содержание TS в концентрате составляет около 15%. Конденсат удаляется после того, как испарившийся водяной пар сконденсируется. Если pH жидкой фракции не снижается перед вакуумным испарением, аммиак испаряется и возвращается в конденсат. Вакуумное испарение обычно сочетается с аммиачным скруббером для извлечения аммиака серной кислотой. Когда pH снижается (обычно до 4,5 с серной кислотой), концентрат также извлекает аммиак вместе с P и K.

Энергетическая потребность одноступенчатого вакуумного процесса составляет 10-13 кВтч / м3 перерабатываемого материала, преобразованного в энергию, и 600-1000 кВтч / м3 испарившейся H₂O. Однако, чтобы рециркулировать тепло и снизить энергозатраты, испарение обычно выполняется последовательно в нескольких установках, например, в 4-ступенчатом процессе, потребность в энергии составляет 5 кВтч / м3, а потребность в тепле составляет всего 250-350 единиц. кВтч / м3 испаренной H₂O. Из-за относительно высокой энергии, особенно потребления тепла, выпаривание, особенно тепловое, обычно используется после анаэробной ферментации и повышения качества биогаза на теплоэлектроцентрали, где имеется избыточная тепловая энергия.

Конечные продукты как удобрения

Выпаривание может восстановить 80-99% N и 85-100% P из обработанной жидкой фракции. Концентраты имеют более высокое содержание питательных веществ по сравнению с навозом и жидким навозом из-за отделения избыточной воды во время обработки (2-7 г P / кг, 5-40 г N / кг). Концентрат можно использовать в качестве жидкого удобрения NPK с относительно высокими концентрациями питательных веществ по

сравнению с жидким навозом. Вторичный продукт, конденсат, можно использовать в качестве технологической воды или обработать обратным осмосом для получения чистой воды.

Воздействие на окружающую среду

Никаких выбросов в результате процесса, но существует риск концентрации солей и вредных соединений в концентрате питательных веществ.

Во время испарения высокие температуры могут дополнительно обеспечить гигиену обработанных жидкостей, но металлы и соли, например, концентрируются в продуктах. Летучие органические соединения также могут переходить в конденсат.

**Пример из практики : Gasum, Vehmaa,
Финляндия**

Gasum Vehmaa - биогазовая установка, первоначально введенная в эксплуатацию в 2005 году компанией Biovacka Finland Ltd. Завод перерабатывает около 90 000 т / год ферментов, пищевых отходов и свиного навоза (общая мощность 120 000 т / год, 32 ГВт / год). Электростанция вырабатывает электроэнергию, которая частично используется на месте и частично подается в сеть (~ 6700 МВтч / год). Вырабатываемое тепло используется как на территории, так и в соседней теплице. Ферментат отделяют от твердого вещества / жидкости на центрифугах. Твердая фракция в основном используется на местном уровне в качестве удобрения, а жидкая фракция концентрируется в вакуумном испарителе. Концентрат, богатый питательными веществами, используется в качестве удобрения, но также продается бумажной промышленности, которая нуждается в азоте, в частности, на ее очистных сооружениях. Конденсат испарителя, который содержит следовые количества питательных веществ, но почти не содержит углерода и твердых частиц, перед сбросом обрабатывается методом обратного осмоса.



Фото: Gasum Ltd

Ссылки

- GIZ 2019. Дигестат как удобрение. Применение, обновление и маркетинг. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Восстановление питательных веществ путем переработки дигестата биогаза. МЭА Биоэнергетика.
http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf

4.7. Технологические цепочки переработки навоза

Одного технологического процесса обычно недостаточно для преобразования навоза в удобрения, которые можно транспортировать на большие расстояния в районы, где, например, фосфор необходим, и они действительно являются желанными удобрениями среди фермеров. Для этого можно последовательно реализовать несколько технологий обработки. Тем не менее, наиболее подходящие технологии переработки навоза и технологические цепочки всегда зависят от конкретной площадки и экономической эффективности всей технологической цепочки.

Здесь мы представляем две цепочки переработки навоза, которые могут применяться как для навозной жижи крупного рогатого скота, так и для свиней. В первом примере (рис. 10) навозная жижа отделяется с помощью шнекового пресса. Жидкая фракция обрабатывается осаждением струвита для улавливания фосфора, а сточные воды дополнительно обрабатываются отпаркой аммиака для извлечения остаточного аммиака. Таким образом, оставшаяся жидкая вода по-прежнему содержит, среди прочего, калий. Твердая фракция из винтового пресса подвергается термической сушке. В этой первой технологической цепочке 77% фосфора из исходной суспензии можно выделить в струвите, а 78% аммонийного азота - в виде сульфата аммония. Вес этих удобрений снижен и составляет 1% и 9% от исходного веса навозной жижи, что подчеркивает эффект снижения веса во время обработки навоза.

Во второй цепочке (рис. 11) свиная навозная жижа сначала анаэробно ферментируется, а затем дигестат разделяется на твердую и жидкую фракции с помощью центрифуги. Азот аммония из жидкой фракции извлекается путем отгонки аммиака, и поток остаточных питательных веществ концентрируется мембранами, в то время как твердая фракция подвергается термической сушке и пиролизу. Основным преимуществом внедрения анаэробной ферментации в технологическую цепочку является производство энергии, которую можно использовать на последующих этапах обработки. Если переработать биогаз в автомобильное топливо, доход от производства топлива можно использовать для сбалансирования экономики технологической цепочки. АФ также позволяет коферментировать навозную жижу с другим органическим сырьем одновременно для производства как энергии, так и удобрений. Во второй технологической цепочке 68% фосфора в свиной навозной жиже извлекается в виде пиролизного угля и 97% аммонийного азота в виде сульфата аммония после отпарки. Фракции органического азота извлекаются мембранным способом.

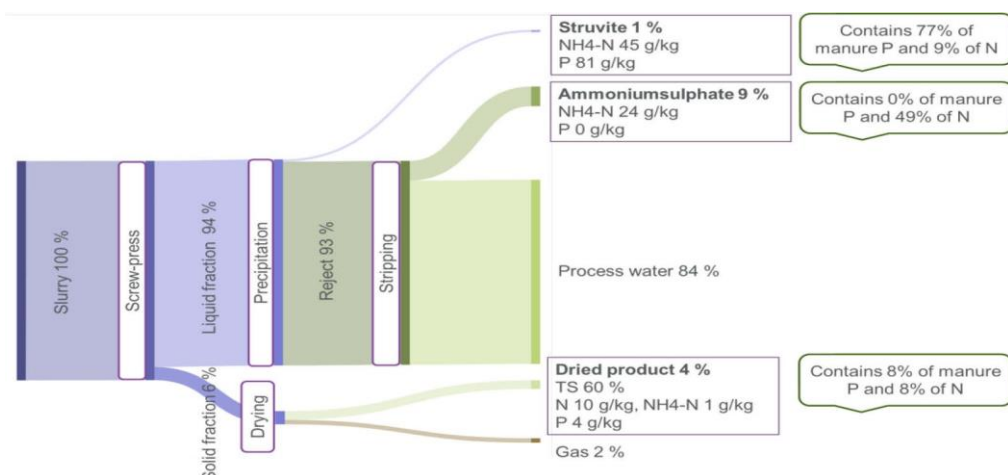


Рисунок 10. Технологическая цепочка обработки свиной навозной жижи, включая шнековый пресс, осаждение струвита, отгонку аммиака и термическую сушку. Все числа представляют собой процентное содержание массы / P / N / NH₄-N в исходной свиной навозной жиже.

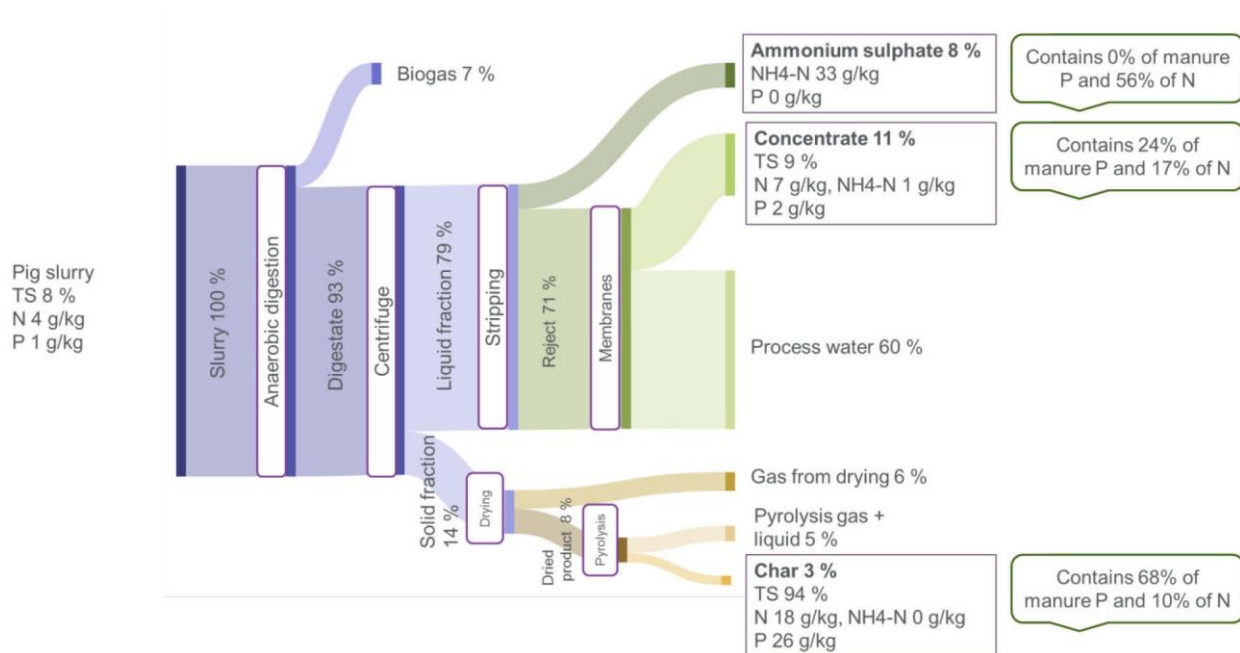


Рисунок 11. Технологическая цепочка обработки свиной навозной жижи, включая анаэробную ферментацию, центрифугу, отгонку аммиака, мембранное разделение, термическую сушку и пиролиз. Все числа представляют собой процентное содержание массы / P / N / NH₄-N в исходной свиной навозной жиже.

4.8. Краткое изложение технологий переработки навоза и их конечных продуктов

Конечные продукты переработки навоза, предназначенные для использования в качестве удобрений, имеют различное содержание питательных веществ в зависимости от исходного качества навоза и выбранной технологии обработки. Следующая таблица (Таблица 12) суммирует технологии переработки навоза и представляет диапазон характеристик для каждого полученного конечного продукта, как указано в литературе. Следует отметить, что широкий ассортимент, например, Концентрация TS в каждой технологии обусловлена разнообразием используемых исходных материалов, а также выбранными параметрами процесса. Оценки доступности P основаны на Ylivainio et al. (2008, 2018) и Ylivainio et al. (2017).

Таблица 12. Краткое изложение технологий переработки навоза и содержания питательных веществ в конечных продуктах на основе навоза.

Процесс	Продукт	P Доступность (%)	Всего твердых веществ (%)	P (г/кг)	N (г/кг)	Растворимый-N (г/кг)	Спр.
Разделение твердой и жидкой фаз	Жидкая фракция	100	1–10	0.05–1	1–4	0.5–3	1–6
Разделение твердой и жидкой фаз	Твердая фракция	100	20–35	0.5–7	0.5–12	0.01–5	1–6
Анаэробная ферментация	Дигестат	100	2–25	0.5–6	3–10	0.5–5	4, 7–9
Компостирование	Компост	100	20–60	0.2–6	0.2–6	0–0.5	7, 10–13
Сушка	Сухой навоз	100	60–96	4–35	2–36	0.5–4	1, 7, 14
Пиролиз	Биочар	20–90	>95	10–100	4–50	~0	15–18
Сжигание	Зола	40–80	>80	50–110	0	0	1, 19–20
NH ₄ -N стриппирование	Сульфат аммония	-	10–30	0	20–110	20–110	14, 21–22
Выпаривание	Концентрат	100	10–30	2–7	5–40	0.1–20	23–24
Мембраны	Концентрат	100	2–15	0.01–1	2–20	2–20	1, 6, 9, 14, 25
Осаждение струвита	Струвит	100	60–100	60–130	30–60	30–60	14, 26–29

¹Lebuf et al. 2013, ²Gilkinson & Frost 2007, ³Paavola et al. 2016, ⁴Virkajärvi et al. 2016, ⁵Hjorth et al. 2010, ⁶Velthof 2015, ⁷Evira 2017, ⁸Luostarinen et al. 2013, ⁹Shi et al. 2018, ¹⁰Keskinen et al. 2017, ¹¹Karjalainen et al. 2014, ¹²Michel et al. 2004, ¹³Rizzo et al. 2015, ¹⁴Systemic-project 2018, ¹⁵Professional estimation, ¹⁶Subedi et al. 2016, ¹⁷Al-Wabel et al. 2017, ¹⁸Qambrani et al. 2017, ¹⁹Masiá et al. 2007, ²⁰Bloem et al. 2017, ²¹Ervasti et al. 2018, ²²Laureni et al. 2013, ²³Bonmatí & Flotats 2003, ²⁴Chiumenti et al. 2013, ²⁵Vaneechaute et al. 2012, ²⁶Ackerman et al. 2015, ²⁷Katanda ym. 2016, ²⁸Vaneechaute et al. 2015, ²⁹Schoumans et al. 2017

Влияние переработки навоза на содержание питательных веществ в конечных продуктах зависит, прежде всего, от эффективности отделения воды. Чем меньше исходный вес навоза, тем выше обычно может быть достигнута концентрация питательных веществ. Некоторые технологии очень эффективны при концентрировании фосфора, в то время как другие более концентрируются на концентрации азота. На рисунке 12 показана эффективность отделения массы, Р и N различных технологиях переработки навоза. На каждом рисунке показан средний диапазон веса, эффективность разделения Р или N, на основании предыдущих исследований с навозом в качестве субстрата. Наиболее эффективными процессами в области массы являются процессы справа, где удаляется большая часть жидкой фракции навозной жижи или воды. Благодаря разделению Р и N достигается более эффективное уплотнение питательных веществ благодаря технологиям, сосредоточенным на правой стороне.

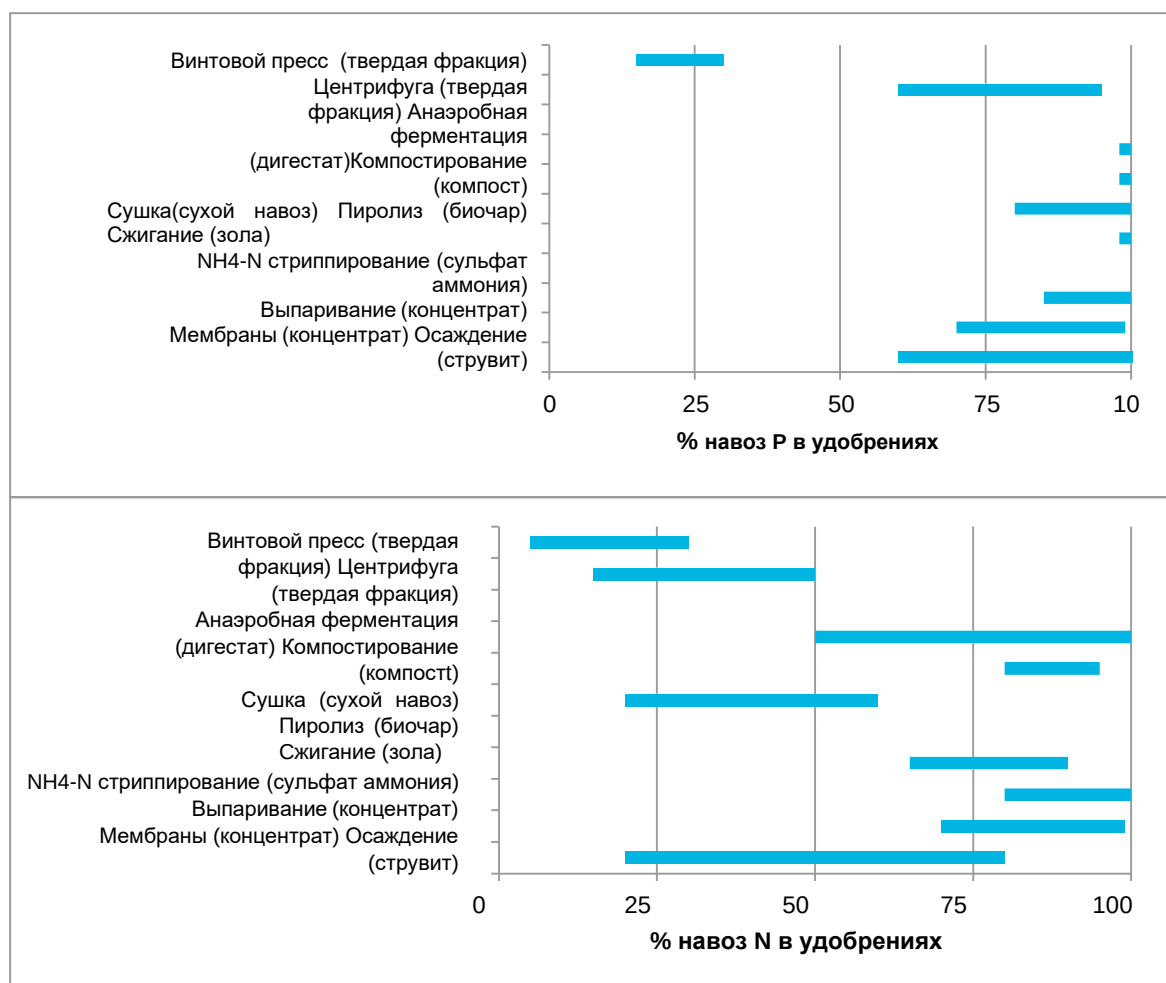


Рисунок 12. Эффективность отделения массы, Р и N в обработанных удобрениях по сравнению с исходным навозом при различных технологиях обработки.

Еще одним важным аспектом удобрений на основе навоза является доступность содержащихся в них питательных и органических веществ. Традиционные удобрения, представленные на рынках, являются неорганическими, то есть продукты не содержат органических веществ, а переработанные удобрения часто называют органическими удобрениями. Большинство переработанных удобрений, представленных на рынке, на самом деле являются органическими удобрениями, которые по определению содержат органические вещества в дополнение к питательным веществам. Однако некоторые из технологий переработки, описанных в этом отчете, позволяют получать конечные продукты без органических веществ. В этом отношении было бы целесообразно называть переработанные продукты удобрений органическими удобрениями или удобрениями на основе навоза, которые затем могут включать как органические, так и неорганические продукты удобрений.

Органические удобрения по определению содержат как питательные вещества, так и органические вещества. При использовании в качестве удобрения важно помнить, что некоторые питательные вещества, связанные с органическими веществами, недоступны для сельскохозяйственных культур. Некоторые органические вещества и питательные вещества высвобождаются во время минерализации почвы, что в конечном итоге делает ее доступной для сельскохозяйственных культур. Это важно, особенно в случае азота. В большинстве популярных минеральных удобрений весь азот легкодоступен для сельскохозяйственных культур, но в органических удобрениях только часть азота будет доступна сразу после посева, а остальная часть будет доступна только позже во время вегетационного периода и даже в течение текущего года.

Высвобождение азота из органических веществ зависит от условий, преобладающих в данном месте, например, температура и влажность почвы. Это может привести к снижению питательной ценности и эффективности использования питательных веществ, например с зернами, которые больше всего нуждаются в азоте в течение вегетационного периода. Растения с более длительным периодом роста или более одной культуры могут использовать питательные вещества, которые высвобождаются позже. С другой стороны, если при высвобождении азота нет растительности в активной фазе роста, существует риск выбросов. Это делает внесение органических удобрений немного сложнее, чем внесение обычных минеральных удобрений.

В случае минеральных удобрений вычислить ценность удобрения просто, поскольку все питательные вещества легкодоступны для сельскохозяйственных культур. Удобрительная ценность продуктов удобрений усложняется из-за более медленного высвобождения питательных веществ. С другой стороны, органические вещества в удобрениях также имеют ценность для улучшения почвы. Содержание органических веществ в продуктах сильно различается.

Общее содержание питательных веществ также варьируется в зависимости от типа удобрения. Одна из целей переработки навоза или другого органического сырья - удалить воду, и / или воздух, и / или органические вещества, тем самым получая более высокую концентрацию питательных веществ в конечном продукте.

Поэтому очень важно, чтобы конечные пользователи имели доступ к правильной информации об органических удобрениях. Интерпретация информации о продукте также требует внимания. Выбор правильного продукта для правильных культур и условий производства имеет важное значение при стремлении достичь высокой эффективности использования питательных веществ. Многие продукты также требуют специальной подготовки к хранению, и разбрасывание может оказаться невозможным с помощью машин, используемых для внесения минеральных удобрений, но в большей степени с помощью машин, обычно используемых для разбрасывания навоза. Поэтому фермерам, не обладающим знаниями об использовании этих продуктов, может потребоваться специальное консультирование в области передовой практики.

Ссылки

- Ackerman, J.N., Zvomuya, F., Cicek, N. & Flaten, D. 2013. Оценка струвита, полученного из навоза, как источника фосфора для канолы. Журнал растениеводства 93: 419–424.
- Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R.A., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A.S. & Ok, Y.S. 2017. Влияние свойств биоугля на состояние почвы и устойчивость сельского хозяйства: обзор. Деградация земель и развитие 29: 2124–2161.
- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Загрязнение источников органических питательных веществ потенциально токсичными элементами, антибиотиками и патогенными микроорганизмами в связи с потенциалом удобрений P и вариантами обработки для производства экологически чистых удобрений: Обзор. Наука об окружающей среде в целом 607-608: 225-242.
- Bonmatí, A., Flotats, X., 2003. Концентрация свиного навоза путем вакуумного испарения: влияние предыдущего мезофильного анаэробного процесса разложения. Журнал Ассоциации Управления Воздухом и Отходами 53: 21– 31.
- Chiumenti, A., da Borso, F., Chiumenti, R., Teri, F. & Segantin, P. 2013. Обработка дигестата из биогазовой установки совместной ферментации с помощью вакуумного выпаривания: испытания на оптимизацию процесса и экологическую устойчивость. Управление отходами 33: 1339–1344.
- Ervasti, S., Winqvist, E. & Rasi, S. 2018. Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä – tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuusarvio (Извлечение азота из жидкой фракции навоза - оценка технико-экономической целесообразности). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 4/2018. Институт природных ресурсов Финляндии.
- Evira 2017. Lannoitevalmisteiden tuotevalvonnan analyysitulokset 2017. Eviran raportti. <https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/julkaisut/raportit/lannoitevalmisteiden-tuotevalvonnan-analyysitulokset-2017.pdf>
- Gilkinson, S. & Frost, P. 2007. Оценка механического разделения навозной жижи свиней и крупного рогатого скота с помощью декантирующей центрифуги и сетчатого сепаратора. Институт агропродовольствия и биобезопасности, Великобритания. <https://www.afbini.gov.uk/articles/evaluation-mechanical-separation-pig-and-cattle-slurries>
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L. & Sommer, S.G. 2010. Разделение твердой и жидкой навозной жижи животных в теории и на практике. Обзор. Агрономия для устойчивого развития 30: 153– 180.
- Karjalainen, H., Karppinen, T., Virkkunen, E., Kemppainen, J., Tampio, E. & Lötjönen, T. 2014. Hevosienlannan tuubikompostointi (Тубовое компостирование конского навоза). Biojäte ja hepolanta-hankkeen selvityksiä 3/4. MTT Sotkamo.
- Katanda, Y., Zvomuya, F., Flaten, D. & Cicek, N. 2016. Струвит, полученный из свиного навоза: влияние на урожайность биомассы канолы и пшеницы и эффективность использования фосфора. Общество почвоведения американского журнала 80: 135.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämppä, J. 2017. Переработка питательных веществ из конского навоза: влияние типа подстилки и ее компостируемости. Сельское хозяйство и пищевая наука 26: 68–79.
- Laureni, M., Palatsi, J., Llovera, M. & Bonmatí, A. 2013. Влияние характеристик свиной навозной жижи на эффективность отпарки аммиака и качество регенерированного раствора сульфата аммония. Журнал химической технологии и биотехнологии 88: 1654–1662.

- Lebuf, V., Accoe, F., Van Elsacker, S., Vaneekhaute, S., Michels, E., Meers, E., Ghekiere, G. & Ryckaert, B. 2013. Методы восстановления питательных веществ из дигестата: Arbor-project. <http://hdl.handle.net/1854/LU-7010573>
- Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönnotto ja operointi - käyttökokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta (Биогазовая технология на фермах). MTT Raportti 113.
- Masiá, A.A.T., Buhre, B.J.P., Gupta, R.P. & Wall, T.F. 2007. Характеристика золы биомассы и отходов. Технология переработки топлива 88: 1071–1081.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J. & Keener, H.M. 2004. Потери массы и питательных веществ при компостировании молочного навоза с добавлением опилок или соломы. Наука о компосте и его использование 12(4): 323–334.
- Paavola, T., Winquist, E., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Lantaravinteiden kestävä hyödyntäminen tiloilla ja keskitetyssä biokaasulaitoksessa (Сбалансированное использование питательных веществ навоза на фермах и на централизованной биогазовой установке). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2016. Институт природных ресурсов Финляндии.
- Qambrani, N.A., Rahman, Md.M., Won, S., Shim, S. & Ra, C. 2017. Свойства биочара и экологически чистые применения для смягчения последствий изменения климата, управления отходами и очистки сточных вод: обзор. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии 79: 255–273.
- Rizzo, P.F., Torre, V.D., Riera, N.I., Crespo, D., Barrena, R. & Sánchez, A. 2015. Совместное компостирование птичьего помета с другими сельскохозяйственными отходами: эффективность процесса и использование компоста в садоводстве. Журнал циклов материалов и обращения с отходами 17: 42–50.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I., Regelink, I.C., Nelemans, J.A., Noij, I.G.A.M., van Tintelen, W. & Rulkens, W.H. 2017. Химическое восстановление фосфора из навоза и дигестата. Лабораторные и пилотные эксперименты. Report 2849. Исследование окружающей среды Вагенингена.
- Shi, L., Walquiria, & Simplicio, S., Wu, G., Hu, Z., Hu, H. & Zhan, X. 2018. Восстановление питательных веществ из дигестата анаэробной ферментации навоза домашнего скота: обзор. Текущие отчеты о загрязнении 4: 74–83.
- Subedi, R., Taupe, N., Pelissetti, S., Petruzzelli, L., Bertora, C., Leahy, J.J. & Grignani, C. 2016. Выбросы парниковых газов и свойства почвы после изменения биоуглерода из навоза: влияние температуры пиролиза и типа сырья. Журнал экологического менеджмента 166: 73–83.
- Системный проект 2018. Информационные бюллетени по продуктам. <https://systemicproject.eu/downloads/#toggle-id-3>
- Vaneekhaute, C., Meers, E., Michels, E., Christiaens, P. & Tack, F.M.G. 2012. Судьба макроэлементов в водоочистке дигестата с помощью вибрационного обратного осмоса. Загрязнение воды, воздуха и почвы 223: 1593–1603
- Vaneekhaute, C., Janda, J., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2016. Эффективность использования фосфора в удобрениях на биологической основе: биодоступность и фракционирование. Педосфера 26: 310–325.
- Velthof, G.L. 2015. Минеральный концентрат из переработанного навоза в качестве удобрения. Отчет Alterra Report 2650. Alterra Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/352930>
- Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M., Pakarinen, T., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maataloilla II: Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena (Биогазовая технология на фермах: дигестат как удобрение). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. Институт природных ресурсов Финляндии.
- Ylivainio, K., Jauhiainen, L., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2018. Задержка воды серьезно задерживает использование фосфора яровым ячменем (*Hordeum vulgare*). Журнал агрономии и растениеводства 204: 74–85.
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Отчет о доступности фосфора в соответствии с методом фракционирования Хедли и методом DGT. BONUS PROMISE DELIVERABLE 3.4.

https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications/Report%20on%20OP%20availability%20according%20to%20Hedley%20fractionation%20and%20DGT-method.pdf

Ylivainio, K., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2008. Мясо-костная мука и лисий навоз как источники фосфора для райграса (*Lolium multiflorum*), выращиваемого на известковой почве. Круговорот питательных веществ в агроэкосистемах 81: 267–278.

5. Как контролировать потенциальные риски, связанные с гигиеной и загрязнителями

5.1 Микроэлементы

Хотя концентрации микроэлементов (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) в навозе обычно не ограничивают их сельскохозяйственное использование (Sarvi et al. 2017), эти концентрации обычно выше, чем в сельскохозяйственных почвах, вызывая накопление в почве после многократного нанесения (Bloem et al., 2017). В некоторых случаях концентрации определенных микроэлементов (As, Cu, Zn) в навозе могут быть высокими из-за кормовых добавок (Bolan et al. 2015). Cu и Zn используются в качестве кормовых добавок для свиней, а As при выращивании свиней и птицы. Согласно Bloem et al. (2017), самые высокие концентрации Cu и Zn в навозе обнаружены в навозе свиней, а As - в навозе свиней и птицы. Таким образом, использование микроэлементов в кормовых добавках увеличивает их концентрацию в навозе, и после распределения навоза по полям они могут вернуться в корм для животных (Li et al. 2005). Концентрации микроэлементов в осадке сточных вод могут быть выше, чем в природных удобрениях (Bloem et al., 2017), но годовое поступление из навоза животных может быть выше в зависимости от применяемых доз (Nicholson et al. 2003). Хотя текущие концентрации микроэлементов в навозе - от низких до умеренных, было бы целесообразно свести к минимуму использование микроэлементов в рационах животных, чтобы минимизировать риск накопления на сельскохозяйственных угодьях, где навоз регулярно разбрасывается. Известкование снижает растворимость большинства микроэлементов и, таким образом, снижает возможное поглощение растениями и вымывание микроэлементов из сельскохозяйственных почв (Adriano 2001).

5.2 Органические загрязнители

В целом было зарегистрировано более 1500 различных органических соединений, и некоторые из них могут по-разному попадать в навоз, отстой сточных вод и других удобрений. Органические загрязнители, содержащиеся в навозе, поступают, например, из лекарств, кормов и воды для мытья. Антибиотики, как и некоторые другие фармацевтические препараты, в больших количествах (до 90%) выделяются с мочой и фекалиями (Sarmah et al. 2006). Согласно обзору Bloem et al. (2017), концентрации антибиотиков в навозе могут быть на том же уровне, что и в осадке сточных вод, но более высокие уровни могут быть обнаружены в навозе. Среди навоза частота и концентрация ветеринарных антибиотиков выше у свиней и кур, чем в навозе крупного рогатого скота (Bloem et al., 2017). Это также наблюдалось в исследовании Bloem и Lehmann (2016), в котором входящие и выходные материалы 29 биогазовых установок были исследованы на концентрацию антибиотиков. В исследованиях осадок сточных вод всегда был загрязнен антибиотиками, независимо от их обработки, а среди навоза наиболее загрязненным был жидкий навоз свиней и птиц. Самые высокие максимальные концентрации тетрациклинов и фторхинолонов были обнаружены в птичьем помете, свином жидком навозе и птичьем дигестате.

Однако следует отметить, что концентрация антибиотиков в навозе сильно зависит от их использования в животноводстве, которое значительно различается в зависимости от страны (European Medicines Agency 2018).

В Финляндии Martinen et al. (2014) проанализировали несколько групп органических соединений (полихлорированные дибензо-*p*-диоксины и -фураны (ПХДД / Ф), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полиароматические углеводороды (ПАУ), бис (2-этилгексил) фталат (ДЭГФ), перфторированные соединения). (PFC), линейный алкилбензолсульфонат (LAS), нонилфенол и этоксилат нонилфенола (NP + NPEO) и

бромированные антипирены, включая полибромированные дифениловые эфиры (PBDE), гексабромциклододекан (ГБЦД), тетрабромбисфенол А (центральный фармацевтический биопродукт) из ферментированных продуктов финских централизованных биогазовых установок, которые коферментируют навоз, побочные продукты пищевой промышленности, муниципальные биоотходы и осадок сточных вод в различных пропорциях. Ни на одном из предприятий не производилась ферментация только навоза, а на двух заводах ферментировался почти исключительно осадок сточных вод. Согласно исследованию, расчетная медианная нагрузка на почву тестируемыми соединениями после однократного добавления (15 т / га) дигестата была на том же уровне, что и годовое атмосферное осаждение в Финляндии или других скандинавских странах, за исключением ПБДЭ, нагрузка на который составляла в 400–1000 раз выше. Нагрузка на почву отделенной твердой фракцией (10 т / га) была на том же уровне или выше, чем у дигестата. Однако твердая фракция часто используется, например, в таких областях, как каждые пять лет, в то время как дигестат можно использовать один раз в год, что уменьшает разницу в нагрузке на почву между дигестатом и твердой фракцией. Было подсчитано, что нагрузка на почву жидкой фракцией (30 т / га) ниже или на том же уровне, что и дигестат или твердая фракция. Выводы для большинства протестированных соединений заключаются в том, что использование конечных продуктов в сельском хозяйстве вряд ли представляет значительный риск для безопасности пищевых продуктов в Финляндии, но необходимы дальнейшие исследования, особенно в отношении ПБДЭ, ПФУ, ГБЦД и фармацевтических препаратов. Нагрузка почвы конечными продуктами также может варьироваться из-за большого разброса концентраций.

Хотя на поведение антибиотиков в почве влияют многие факторы (например, химическая структура антибиотика, свойства почвы и виды растений), можно сделать вывод, что низкие концентрации антибиотиков и их метаболитов попадают в пищевую цепочку через выпас скота или использование, например, удобрений или продукты их постферментации на полях (Bloem et al., 2017). Это создает риск распространением и формирования генов устойчивости к антибиотикам и, в конечном итоге, возникновением устойчивых патогенов и бактерий, которые могут воздействовать на человека (Bloem et al., 2017). В навозе были обнаружены гены устойчивости к антибиотикам, и их количество было отмечено вскоре после внесения в почву (Muurinen 2017). Было высказано предположение, что для контроля рисков, связанных с использованием антибиотиков в навозе, их использование в животноводстве должно быть сведено к минимуму, поскольку повторное воздействие низких доз создает риск развития и распространения устойчивых к антибиотикам бактерий у сельскохозяйственных животных (You & Silbergeld 2014).

Различные технологии очистки влияют на органические загрязнители по-разному (см. Раздел 4). Они также могут разлагаться на промежуточные продукты или продукты трансформации, которые могут быть обнаружены при еще более высоких концентрациях и токсичности, чем исходные соединения (Huerta-Fontela et al. 2010). Обзор Verlicchi и Zambello (2015) о влиянии различных процессов переработки осадка сточных вод на концентрацию 152 фармацевтических препаратов и 17 продуктов личной гигиены показал, что большинство соединений были уменьшены или ослаблены во время переработки осадка сточных вод (ферментация, компостирование, кондиционирование, сушка). и др.), но некоторые группы соединений (анальгетики, антибиотики, гормоны, антисептики) были даже обогащены по сравнению с исходным осадком сточных вод.

6. Гигиена

Как и в случае с другими источниками органических питательных веществ, в навозе содержатся различные типы бактерий (например, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, ЕНЕС, *Yersinia* spp.), вирусов и паразитов (например, *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp.). Некоторые из них могут быть видоспецифичными или зоонозными (Bloem et al., 2017). Однако возможное присутствие патогенов в навозе не обязательно представляет риск для людей или животных, поскольку риск для здоровья зависит от нескольких факторов, таких как их перенос и выживаемость в окружающей среде, а также инфекционная доза и вирулентность патогена. В целом, за исключением спорообразующих бактерий (например, *Clostridium* spp.), бактерии более чувствительны к различным факторам и процессам окружающей среды, чем вирусы и паразиты.

Чтобы контролировать потенциальный риск патогенов, следует обеспечить соответствующие условия переработки (см. Раздел 4) и исключить повторное заражение, например, избегать контакта оборудования, машин и животных следует при хранении и обращении.

Ссылки

- Adriano, D.C., 2001. Микроэлементы в земной среде. Биогеохимия, биодоступность и риски металлов, 2-е издание, Спрингер, Дордрехт, Гейдельберг, Нью-Йорк, Лондон.
- Bloem, E., Lehmann, L. 2016. Отчет о загрязнении богатых фтором отходов органическими ксенобиотиками. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Доступен: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- Bloem, E., Albiñá, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Загрязнение источников органических питательных веществ потенциально токсичными элементами, антибиотиками и патогенными микроорганизмами в связи с потенциалом удобрений Р и вариантами обработки для производства экологически чистых удобрений: обзор. Наука об окружающей среде в целом 607–608: 225–242.
- Bolan, N., Adriano, D. & Mahimairaja, R. 2015. Распределение и биодоступность микроэлементов в побочных продуктах навоза домашнего скота и птицы. Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологий 34: 291–338.
- Европейское агентство по лекарственным средствам, Европейский надзор за потреблением ветеринарных противомикробных препаратов, 2018 г. «Продажи ветеринарных противомикробных препаратов в 30 странах Европы в 2016 г.». Седьмой отчет ESVAC (EMA/275982/2018)
- Huerta-Fontela M, Galceran MT & Ventura F (2010) Быстрая жидкостная хроматография-квадрупольная масс-спектрометрия с линейной ионной ловушкой для анализа фармацевтических препаратов и гормонов в водных ресурсах. Журнал хроматографии А 1217: 4212–4222.
- Li, Y., McCrory, D.F., Powell, J.M., Saam, H. & Jackson-Smith, D. 2005. Обзор отдельных концентраций тяжелых металлов в молочных кормах штата Висконсин. Журнал молочной науки 88: 2911–2922.
- Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanien yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. MTT Raportti 135. 87 p. Резюме на английском языке: наличие опасных органических соединений и фармацевтических препаратов в дигестате биогазовой установки и оценка риска для цепочки производства пищевых продуктов.
- Muurinen, J. 2017. Устойчивость к антибиотикам в агроэкосистемах. Академическая диссертация. Департамент пищевых продуктов и наук об окружающей среде Хельсинкского университета, 19/2017.
- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C. & Chambers, B.J. 2003. Инвентаризация поступления тяжелых металлов в сельскохозяйственные почвы в Англии и Уэльсе. Наука об окружающей среде в целом 311: 205–219.
- Sarvi, M., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2017. Отчет о соответствии переработанного продукта действующим правилам ЕС по удобрениям. BONUS PROMISE deliverable 3.3.
- Sarmah, A.K., Meyer, M.T. & Boxall, A.B. 2006. Глобальный взгляд на использование, продажи, пути воздействия, возникновение, судьбу и влияние ветеринарных антибиотиков (ВА) на окружающую среду. Хемосфера 65: 725–759.
- Verlicchi, P. & Zambello, E. 2015. Фармацевтические препараты и средства личной гигиены в неочищенных и обработанных осадках сточных вод: возникновение и экологический риск в случае применения на почве - критический обзор. Наука об окружающей среде в целом 538: 750–767
- You, Y. & Silbergeld, E.K. 2014. Уроки сельского хозяйства: понимание низких доз противомикробных препаратов как движущих сил роста резистентности Frontiers Microbiology 5: 284.

6. Выводы

Переработка питательных веществ является неотъемлемой частью экономики замкнутого цикла, и во всем мире необходимы усилия для ее укрепления. В регионе Балтийского моря рециркуляция питательных веществ может быть важным решением для сокращения потерь питательных веществ от сельского хозяйства в море.

Поскольку навоз домашнего скота является наиболее важным перерабатываемым и богатым питательными веществами сырьем, расширение его использования в качестве удобрения может значительно снизить зависимость от минеральных удобрений и риск выбросов питательных веществ при производстве продуктов питания. В регионах с плотным животноводством количество питательных веществ навоза может превышать фактические потребности растениеводства в том же районе. Региональная сегрегация продукции животноводства и растениеводства, также отмеченная во многих странах Балтии, усугубляет это несоответствие.

Поэтому питательные вещества навоза следует перераспределять путем их переработки в более концентрированные и, следовательно, пригодные для транспортировки переработанные удобрения. Затем эти продукты можно было бы транспортировать в регионы, которые нуждаются в питательных веществах, освобождая исходный регион от избытка и снижая общую потребность в минеральных удобрениях при производстве продуктов питания. В то же время можно свести к минимуму выбросы в окружающую среду и обеспечить безопасность опасных соединений и гигиену. В зависимости от выбранной технологии может производиться и возобновляемая энергия.

Есть несколько доступных технологий обработки, которые находятся в стадии разработки. Их можно использовать в разных технологических цепочках в зависимости от степени обработки и желаемого результата. Для внедрения устойчивой обработки навоза также необходимо разработать и оптимизировать практические решения по управлению, включая хранение и разбрасывание.

Рентабельность переработки навоза остается проблемой, учитывая высокий уровень инвестиций, а рынок конечной продукции только начинает развиваться. В результате обществу нужны стимулы, чтобы начать как переработку, так и рынки сбыта.

Для создания действительно функционирующего рынка удобрения на основе навоза должны удовлетворять потребности конечных пользователей, в основном фермеров.

Поскольку продукты часто отличаются от традиционных минеральных удобрений, следует поощрять развитие услуг, облегчающих переход на использование переработанных продуктов удобрений.

Следовательно, стимулы для использования удобрений на основе навоза имеют решающее значение для ускорения перехода к замкнутому сельскому хозяйству и будущей рыночной привлекательности переработки питательных веществ.

SuMaNu в нескольких словах

Эвтрофикация Балтийского моря продолжает оставаться серьезной проблемой, вызванной перегрузкой питательных веществ, в основном из-за сельского хозяйства. Следовательно, в сельском хозяйстве требуется более эффективное управление навозом и питательными веществами, чтобы свести к минимуму потерю питательных веществ и замкнуть циклы питательных веществ. Ситуация требует транснациональных мер как на уровне фермерских хозяйств, так и на региональном уровне на всей территории водозабора. Несколько предыдущих проектов подходили к этой проблеме в последние годы с разных точек зрения, но все же необходимы более исчерпывающие рекомендации.

Чтобы стимулировать развитие в направлении более сбалансированного сельского хозяйства, SuMaNu (сбалансированное управление навозом и питательными веществами для сокращения потерь питательных веществ в регионе Балтийского моря) в качестве платформенного проекта, финансируемого регионом Балтийского моря Interreg, синтезирует методы устойчивого использования навоза и питательных веществ на фермерском и региональном уровнях (рабочий пакет 2) при поддержке четырех международных проектов; Interreg Baltic Sea Region профинансировал Балтийские стандарты подкисления навозной жижи и стандарты Obor, Interreg Central Baltic профинансировал GreenAgri, а BONUS PROMISE профинансировал программу BONUS. Кроме того, используются результаты предыдущих проектов, финансируемых Interreg Baltic Sea Region, таких как Baltic Manure, Baltic Deal, Baltic Compass и Baltic Compact. Этот синтез является основой для совместно сформулированных политических рекомендаций по экологически и экономически устойчивому управлению навозом (рабочий пакет 3). Все рекомендации подготовлены в сотрудничестве с различными целевыми группами, чтобы улучшить их выполнение.

Благодаря широкому партнерству (Институт природных ресурсов Финляндии (Luke) в качестве координатора, Шведский научно-исследовательский институт (RISE), HELCOM, BSAG, Эстонский научно-исследовательский институт сельскохозяйственных культур (ECRI), Ассоциированный парламент фермеров (ZSA, Латвия), Сельскохозяйственный консультативный центр в Брвинуве (CDR, Польша), Organe Institute ApS (Дания) и Julius Kühn Institute (JKI, Германия), рекомендации доводятся до различных целевых групп, таких как политики, советники и фермеры, через профсоюзы (рабочий пакет 4). Политические рекомендации также используются в процессе Стратегии рециркуляции питательных веществ HELCOM и при пересмотре Плана действий по Балтийскому морю.

Больше информации at www.balticsumanu.eu





Институт природных ресурсов
Финляндии

Латокартанонкаари 9
FI-00790 Хельсинки,
Финляндия
тел. +358 29 532 6000