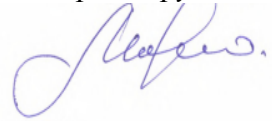


На правах рукописи



Кузнецова Маргарита Евгеньевна

**УТИЛИЗАЦИЯ ЖИДКОЙ ФРАКЦИИ НАВОЗА КРС
НА АГРОЛАНДШАФТАХ ДОЖДЕВАНИЕМ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный
руководитель

доктор технических наук, доцент
Хаджиди Анна Евгеньевна

Официальные
оппоненты:

Тарасьянц Сергей Андреевич
доктор технических наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортюнова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», профессор кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов

Мещеряков Максим Павлович
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Физика».

Ведущая
организация:

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская область, г. Коломна, пос. Радужный

Защита состоится «14» июня 2023 года в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.06 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, главный корпус, аудитория 106.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайта: ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» - www.kubsau.ru и ВАК - <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук



О.А. Гуторова

Основное содержание работы

Актуальность темы диссертации. В последнее время разрабатываются новые и совершенствуются известные технологии переработки отходов животноводства, но проблема утилизации жидких отходов, в целом, остается не решенной. Улучшение водно-физических свойств почв с использованием подготовленных к утилизации жидких отходов животноводства - одно из важных направлений в сохранении плодородия агроландшафтов. Рациональным путем охраны окружающей среды от загрязнения жидкими отходами животноводства является использование их в качестве органических удобрений после подготовки к утилизации на агроландшафтах. Однако, данная проблема эффективно может решаться только комплексно и круглогодично, то есть в замкнутом цикле «отходы – переработка – подготовка – утилизация – поле – урожай – отходы». Для реализации задачи утилизации жидких отходов эти сложные процессы необходимо объединить неразрывной операционной линией (моделью) в пределах предприятия. Использование отходов крупного рогатого скота в качестве органических удобрений для производства продуктов сельского хозяйства имеет не только природоохранное, но и экономическое значение.

Исследования проводились в соответствии с планами НИР Кубанского ГАУ по темам № АААА-А16-116022410039-5 на 2016-2020 гг. и № ГР 121032300057-2 на 2021-2025 гг.

Степень разработанности темы. Переработке и утилизации навозных стоков животных уделяется достаточное внимание. При обоснованном внесении стоков на агроландшафты они становятся ценным органическим удобрением для сельскохозяйственных культур. В последнее время появляются новые разработки и пути решения в области переработки и утилизации жидких стоков, которые в основе применяют современные машины с высокими технологическими параметрами разделения отходов на фракции. Одним из направлений повышения плодородия, улучшения мелиоративного состояния почв, как считают ученые Н.Н. Дубенок, И.П. Айдаров, Н.Г. Ковалев, Е.В. Кузнецов, С.А. Тарасьянц, И.С. Белюченко, В.А. Коваленко, А.М. Бондаренко, В.И. Марымов, Г.И. Рабинович, М.П. Мещеряков, А.А. Ку-

тузова, Л.В. Кирейчева, А.Е. Хаджиди и др. является комплексное внесение минеральных и органических удобрений на основе орошения сельскохозяйственных культур.

Цель исследований. Совершенствование подготовки и переработки навозных стоков КРС к утилизации жидкой фракции орошением кукурузы на зерно дождеванием для повышения мелиоративного состояния почв.

Задачи исследований:

- выполнить анализ существующих способов переработки и утилизации навозных стоков крупного рогатого скота;
- разработать операторную модель комплексной ресурсосберегающей круглогодичной технологии утилизации дождеванием жидкой фракции телят КРС на откорме;
- разработать технологические операции непрерывной подготовки и переработки навозных стоков в жидкую фракцию;
- разработать режим орошения кукурузы на зерно и исследовать изменение мелиоративного состояния почвы при утилизации дождеванием оросительной воды (ОВ = жф + вода источника);
- установить пригодность оросительной воды при поливе дождеванием кукурузы на зерно на агроландшафтах Гулькевичского района Краснодарского края.

Достоверность научных результатов и выводов обеспечивается применением стандартных методов исследований, математической обработкой полученных данных с использованием компьютерных программ, оценкой мелиоративного состояния в последовательной цепочке технологических операций операторной модели и пригодности оросительной воды на агроландшафтах мелиоративной системы при дождевании.

Объект исследования. Операторная модель переработки навоза телят на откорме в жидкую фракцию, мелиоративное состояние почв агроландшафтов при утилизации жидкой фракции дождеванием.

Предмет исследования. Процессы круглогодичного непрерывного приготовления жф к утилизации, режим орошения кукурузы на зерно при утилизации оросительной воды.

Научная новизна работы:

- разработана инновационная операторная модель комплексной ресурсосберегающей круглогодичной технологии с тремя подсистемами утилизации жидкой фракции навоза телят КРС на откорме при

безопасном дождевании в вегетационный период сельскохозяйственных культур;

- обоснован комплекс машин и устройств для круглогодичного приготовления жидкой фракции к утилизации, где для разделения стоков на фракции используется шнековый сепаратор, а для накопления жф служат два биореактора;

- разработан режим орошения кукурузы на зерно при утилизации дождеванием и обоснована норма орошения жф, равная 330 м³/га при коэффициенте разбавления ее к природной воде 1:8,7;

- разработан способ повышения мелиоративного состояния агроландшафтов Гулькевичского района, при котором в почве опытного участка содержание гумуса увеличилось на 0,9 %, а общего гумуса на 2 % по сравнению с исходным состоянием.

Теоретическую и практическую значимость исследований составляют:

- новая операторная модель комплексной ресурсосберегающей круглогодичной технологии и способ подготовки навоза КРС к утилизации, повышающие агресурсный потенциал агроландшафтов и обеспечивающие экологическую безопасность процесса утилизации оросительной воды;

- комплекс машин и устройств, обеспечивающий непрерывную технологическую последовательность операций операторной модели на трёх уровнях подготовки к утилизации жидкой фракции навоза КРС на агроландшафтах;

- режим орошения дождеванием оросительной водой кукурузы на зерно, позволяющий ежегодно экономить природные воды Новокубанского канала объемом 83919 м³;

- комплексная ресурсосберегающая круглогодичная технология, повышающая мелиоративное состояние почв опытного участка путем увеличения содержания гумуса на 0,9 %, общего гумуса на 2 % по сравнению с исходным состоянием и дополнительным поступлением с оросительной водой в почву азота, фосфора и калия - 130 кг/га; 80 кг/га и 90 кг/га соответственно.

Новизна предложенных технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение №2774905, №2774082.

Реализации результатов исследований. Результаты диссертационного исследования внедрены в проект мелиоративной системы на

площади 2040 га, в том числе: осушение на площади 634 га с ограждающей дамбой для защиты от затопления сельскохозяйственных земель; орошение сельскохозяйственных культур на площади 1406 га, из них орошение очищенными животноводческими стоками на площади 292,7 га в ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района Краснодарского края (акт внедрения от 03.07.2022г.). Система и способ непрерывной утилизации жидкой фракции навоза крупного рогатого скота внедрена ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района по договорам №№1,2 (акты внедрения от 24.02.2023г.). Результаты исследований отражены в монографии «Сохранение земельных ресурсов при утилизации очищенных животноводческих стоков». Краснодар: КубГАУ, 2018. – 98 с.

Основные положения, выносимые на защиту:

- операторная модель комплексной ресурсосберегающей круглогодичной технологии утилизации дождеванием жидкой фракции телят КРС на откорме;

- технологические операции непрерывной подготовки и переработки навозных стоков в жидкую фракцию;

- режим орошения оросительной водой кукурузы на зерно,

- мероприятия повышения мелиоративного состояния почвы при утилизации дождеванием оросительной воды;

- результаты экспериментальных исследований пригодности оросительной воды при поливе дождеванием кукурузы на зерно на агроландшафтах Гулькевичского района Краснодарского края.

Апробация работы. Основные положения и выводы, результаты работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских (национальных) научно-практических конференциях: 17-й Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий: теория и практика», г. Самара, 2018 г.; II Международной научно-практической конференции «Безопасность и ресурсосбережение в техносфере», г. Краснодар, 2019 г.; II Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений», г. Краснодар, 2020 г.; XIV Международной научно-практической конференция «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса «ИНТЕРАГРО 2021», Ростов-на-Дону, 2021 г.; Всероссийской (наци-

ональной) научно-практической конференции «Современные научные исследования в АПК: актуальные вопросы, достижения и инновации», п. Персиановский, 2022 г.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи в международных базах данных, 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 патента, 1 монография. Общий объем публикаций составляет 19,45 п.л., из них личный вклад автора – 6,46 п.л.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа содержит введение, пять разделов, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы, приложения. Работа изложена на 144 страницах компьютерного текста, включает в себя 16 рисунков, 45 таблиц и 3 приложения. Список литературы состоит из 155 наименований.

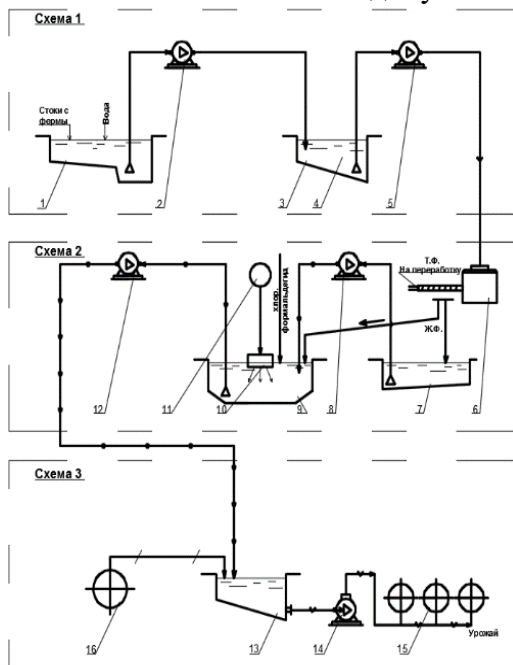
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Анализ способов переработки и утилизации животноводческих стоков КРС» отмечается, что на агроландшафтах России происходит катастрофическое падение плодородия пахотных земель, содержание органического вещества и гумуса в почвах снижается. Так в Краснодарском крае гумус в черноземных почвах снизился за последние года с 7-8 % до 4-5 %. Известные технологические процессы не обеспечивают необходимой эффективности переработки и утилизации отходов животноводства. На животноводческих комплексах (ЖК) используются «морально» устаревшие машины для переработки навоза: сита, грохоты, сепараторы и др., которые были актуальны до конца прошлого века. Для утилизации жидких отходов применяются устаревшие средства утилизации машины ДДН, Фрегат, ДДН 30, имеющие низкую производительность, не обеспечивают должного качества и равномерность полива.

Во втором разделе «Разработка операторной модели утилизации дождеванием жидкой фракции телят КРС на откорме» обоснована операторная модель (ОМ) (рис. 1), которая включает 3 подсистемы

проектных решений для комплексной ресурсосберегающей круглогодичной технологии. Исследования проводились для 2-х групп молодняка КРС: на откорме 6-12 мес. – 2,5 тыс. голов, и старше 12 месяцев – 2,5 тыс. голов. Обоснованы проектные решения по управлению ОМ на 3-х подсистемах. Подсистема 1 – подготовка навоза к переработке (схема 1 рис. 1). Навоз от КРС ежедневно накапливаются в канале 1 и постепенно перемещается по уклону, где выполняется его очистка от включений. Устанавливается допустимый размер ситных отверстий.



1. Накопитель навозных стоков.
2. Насос PTS 4-80.
3. Регулирующая усреднительная емкость 6,2x62x4,8 м.
4. Миксер – гомогенизатор TM V 9/4N.
5. Насос PTS 4-100.
6. Шнековый сепаратор SB 780/0,75.
7. Резервуар для хранения жидкой фракции.
8. Насос PTS 4-80.
9. Резервуар для хранения животноводческих стоков.
10. Оборудование для аэрации животноводческих стоков.
11. Компрессор.
12. Насос для подачи жф;
13. Усреднитель животноводческих стоков.
14. Насос ЕТО 4-80.
15. Дождевальная машина.
16. Источник чистой воды.

Рисунок 1 – Схема операторной модели

Очищенные стоки насосом PTS 4-80 перекачиваются в усреднительную ёмкость 3, если стоки содержат патогенную микрофлору направляются на карантин. Навоз доводится до влажности более 92 % водой источника 16, что позволяет навозные стоки превращать в полидисперсную систему и обеспечивать их продвижение к гомогенизатору TM V 9/4N – 4. Подсистема 2 – разделение навоза жф и тф (схема 2 рисунок 1). Насосом 5 PTS 4-100 гомогенизированные навозные стоки (полидисперсная система) подаются на шнековый сепаратор 6 марки SB 780/0,75. Подсистема 3 – утилизация жф дождеванием (схема 3 рисунок 1). Биореакторы 9 обеспечивают непрерывную

подготовку жф к утилизации, которая поступает от сепаратора 6 в емкость 7 и далее самотёком в биореактор 9. Оросительная вода подаётся насосом по трубам к дождевальным машинам 15, где утилизируется на полях орошения.

В третьем разделе «Методика выполнения экспериментов» применялись стандартные методы исследования. Определялось качество воды источника орошения для разбавления жф, содержание состава биогенных веществ в навозе и жидкой фракции на выходе из механических биореакторов, мелиоративное состояние почв опытного участка до и после утилизации жф дождеванием. Исследования проб навоза, жф и почвы проводились в аттестованной химической лаборатории. Пригодность оросительной воды на опытном участке определялась по индексу SAR.

В четвёртом разделе «Обоснование процесса операторной модели» приводится, что для процесса увлажнения навоза используется чистая вода, которая НС подаётся из Новокубанского канала, определяется секундный расход, используя норму воды на $1 \text{ м}^3 0,75 \text{ л/л экс.}$
 $Q_{\text{в}} = (65 + 87,5) \times 0,75 / 24 \times 3600 = 0,0135 \text{ м}^3/\text{с}$. Суточный объём, используемой воды с включениями, будет – $117,5 \text{ м}^3$. При этом влажность стоков в усреднителе в период вегетации культур изменялась незначительно и поддерживается в диапазоне 92,8-94,2 %. Средняя влажность составляет 93,4 %, которая используется для приготовления и утилизации жф на агроландшафтах.

Химический состав и количество биогенных элементов определяется делением количества азота, фосфора и калия на суточный выход. Разбавление экскрементов водой приводит к изменению массовой доли каждого элемента. Химический состав биогенных элементов в экскрементах находился в смешанных пробах, как среднеарифметическое, которые отбирались в 3-х точках объема гомогенизированного навоза. Содержание биогенных элементов определялось в экскрементах на 1 голову КРС (таблица 1).

Находилась массовая доля сухого вещества $C_{\text{с}} = 11,6 \%$, где влажность экскрементов животных была $W_{\text{с}} = 86,4 \%$. При добавлении воды изменяется концентрация биогенных элементов в объеме $117,5 \text{ м}^3$.

Определяются количество и концентрация биогенных элементов после разбавления навоза водой источника при $C_{\text{н}}/C_{\text{с}} = 0,56$, которые приводятся в таблице 2.

Таблица 1 – Концентрация биогенных веществ в экскрементах

Биогенные элементы	Количество голов, тыс.	Количество экскрементов, м ³	Содержание на 1 голову, г/г	Выход в сутки, м ³	Концентрация биогенных элементов, мг/кг
азот	5,0	152,5	95	478	3139
фосфор			55	276	1817
калий			99	497	3260
CaO			54	272	1798
всего			-	1525	-

Таблица 2 – Количество и концентрация биогенных элементов

Биогенные элементы	Количество биогенных элементов в навозе, кг	C_n/C_s	Количество биогенных элементов после разбавления в навозе, кг	Концентрация биогенных веществ в экскрементах, мг/кг
азот	260,515	0,56	145,888	540
фосфор	150,242		84,135	312
калий	270,550		151,508	561
CaO	150,218		84,120	312
всего	831,525		465,651	-

В результате технологических операций получена характеристика навоза C_n – массовая доля сухого вещества 6,5 %. W_n – влажность навоза – 93,5 %. При этом установлено содержание количество биогенных элементов в навозе: N = 145,888 кг, P /P₂O₅/ = 84,135кг, K /K₂O/ = 1601 кг, CaO = 84,120 кг.

В относительных единицах получено содержание: сухого вещества в навозе – $C_n = 6,5$ %; сухого вещества в жидкой фракции – $C_{ж} = 3,38$ %; сухого вещества в твердой фракции – $C_o = 35$ %.

Разделение на фракции рассматривается как механический процесс, который выполняется шнековым сепаратором SB 780/0,75, при котором отсутствуют потери вещества. Выход жидкой и твердой фракций определяется по формуле (1):

$$V_{жф} = M_n (C_o - C_n) / (C_o - C_{жф}), \quad V_{тф} = M_n (C_n - C_{ж}) / (C_o - C_{жф}), \quad (1)$$

где M_n – объем навозных стоков ($M_n = 270$ м³), м³; $V_{жф}$, $V_{тф}$ – объем исходных навозных стоков, жидкой фракции и твердой фракции, кг.

Для управления машинами операторной моделью потребуется 93 кВт. Объем жф составит в сутки: $V_{\text{жф}} = 243 \text{ м}^3$, $V_{\text{тф}} = 27 \text{ м}^3$. Определяется концентрации биогенных элементов после разделения в жф:

$$N_a = M_a \cdot (0,8 \cdot (C_{\text{жз}}/C_n + 0,43 \cdot (100 - C_{\text{жз}})/(100 - C_n)) = 540 \cdot (0,8 \cdot (3,38/0,65) + 0,43 \cdot (100 - 3,38)/(100 - 6,5)) = 478 \text{ мг/дм}^3; N_p = 312 \cdot C_{\text{жз}}/C_n = 312 \cdot (3,38/6,8) = 162 \text{ мг/дм}^3; N_k = 1601 \cdot ((100 - 3,8)/(100 - 6,5)) = 1654 \text{ мг/дм}^3.$$

Объем биореактора при 6 месячном выдерживании жф с освещением 70 % и влажностью осадка более 92 % находится по формуле 1.

$$C_{\text{ж1}} = (1 - 0,006 \cdot 70) \cdot 3,38 = 1,96 \%$$

$$V_1 = 243 \cdot (C_o - C_{\text{н1}}) / (C_o - C_{\text{ж1}}) = 243 \cdot (30 - 3,38) / (30 - 1,96) = 230 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объем Q осадка в накопителе равен $243 - 230 = 13 \text{ м}^3/\text{сут.}$

По технологическим операциям установлены объёмы переработки навозных стоков, основные машины, устройства и их мощности, которые приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Машины и устройства для реализации операторной модели

Машины и устройства	Машины	Мощность	Характеристики
Трактор, класс 3	ДТ-75	70 кВт	Гусеничный
Накопитель для навозных стоков	1300 м ³	65x10x2,0 м ³	уклон 0,05
Карантинная емкость	58,8 м ³	-	3,5x3,5x4,8
Фекальный насос с крыльчаткой	С М80-50-200/4	34 кВт	80 м ³ /час
Усреднительная ёмкость	184,5 м ³	-	6,2x6,2x4,8
Перекачка стоков насосом	PTS 4-80	4 кВт	130 м ³ /час
Миксер – гомогенизатор	TM V 9/4N.	9 кВт	130 м ³ /час
Перекачка полидисперсной системы	PTS 9-100	10 кВт	130 м ³ /час
Шнековый сепаратор	SB 780/0,75	2x5,5 кВт	50x2=100 м ³ /час
Резервуар для хранения жф – МБР	МБР –2 шт.	42 тыс. м ³ -	45 тыс. м ³
Компрессор винтовой	Абак-SPINN	2x7 кВт	С перфорацией труб

Усреднитель ЖФ	18,9 м ³	2 м	3х3х2,1
Насос подкачивающий	ЕТО 4-80.	4 кВт	10 м ³ /час
ИТОГО	-	93 кВт	-

Устройство биореакторов позволяет ликвидировать лагуны в пределах территории ЖК и перейти на новый технологический уровень подготовки жф к утилизации дождеванием на агроландшафтах.

Разработан табличный способ регулирования объема притока и оттока жф и диспетчерский график работы 2 –х МБР по 42 тыс. м³ каждый в год. Из биореакторов жф по трубопроводу ПЭ 100 SDR 26 Ø160 × 6,2 направляется в усреднитель расходом 0,0135 м³/с. Расчет МБР выполняется по уравнению:

$$F dz = q dt - Q dt, \quad (2)$$

где q – приток в МБР, м³/с; F –площадь МБР, м²; dz – приращение уровня в МБР (м) за время dt (с), м; Q – расход оттока, м³/с.

В пятом разделе «Утилизация жидкой фракции в составе мелиоративной системы» разработан режим орошения кукурузы на зерно при утилизации оросительной воды, исследовано изменение мелиоративного состояния почвы при утилизации дождеванием оросительной воды; установлена пригодность оросительной воды при поливе дождеванием кукурузы на зерно на агроландшафтах кластера №11 ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района Краснодарского края (рис.2).

Суммарное водопотребление E (мм) рассчитывается через величину испаряемости E_0 , скорректированную коэффициентами, учитывающим роль растений и микроклимата в расходовании воды:

$$E = E_0 \cdot K_0 \cdot K_6, \quad (3)$$

где E_0 – испаряемость, мм; K_0 - микроклиматический коэффициент, характеризующий возможное изменение метеорологических факторов на сельскохозяйственном поле под влиянием орошения, для степной зоны, $K_0=0,93$; K_6 – биологический коэффициент для кукурузы, $K_6 = 0,96$.

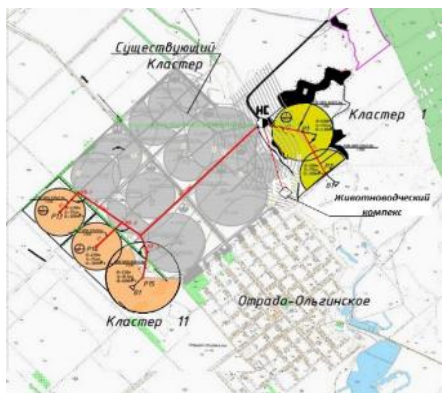


Рисунок 2 – Схема кластера № 11 в составе мелиоративной системы

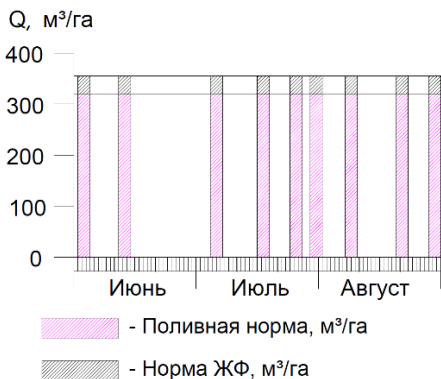


Рисунок 3 – График утилизации ОБ дождеванием при поливе кукурузы

Вычисляется дефицит водопотребления как разница между суммарным водопотреблением и выпавшими осадками за расчетный период, который ведется по формуле:

$$\Delta W = 10(E - \mu P), \quad (4)$$

где ΔW - дефицит водопотребления, мм; μ - доля осадков (0,7); P - осадки за вегетационный период, мм.

Средние даты и сроки поливов определяются по интегральной кривой дефицита водопотребления. При вычислении оросительной нормы M применяется формула:

$$M = \sum E - \sum P - (\sum \gamma E + \sum fE + W_2), \dots \dots \dots (5)$$

где γ - коэффициент влагообмена, учитывает капиллярный подток и непосредственное использование корнями растений влаги из слоев ниже расчетного ($\gamma = 0,15$); f - коэффициент инфильтрационных потерь влаги из расчетного слоя ($f = 0,10$); W_2 - объем влаги, потребляемой растениями из капиллярной каймы грунтовых вод, м³/га ($\sum W_2 = 0,05M$).

Число поливов определяется по интегральной кривой для средне-сухого года 75 % обеспеченности, построенной по формуле (5). Оросительная норма составляет 3200 м³/га, число поливов 10 поливной нормой 320 м³/га. Определяется расход дождевальнх машин для утилизации ОБ. Расход ДМ рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{m F}{T}, \quad (6)$$

где Q – расход ДМ, м³/ч; F – орошаемая площадь, га; T – время, час.

Полив кукурузы в сентябре не проводится, т.к. идет ее уборка. Количество поливов сокращается до 9 при увеличении поливной нормы до 355,5 м³/га. На рисунке 3 представлен график утилизации ОВ дождеванием при поливе кукурузы. Объём потребности в оросительной воде для кукурузы на зерно составляет 813760 м³. Этот объём включает объём природной воды, которую необходимо забрать из источника орошения и объём жидкой фракции. Вода из источника орошения подаётся в систему насосной станцией, жф поступает во всасывающую трубу этой же насосной станции.

Оросительная норма кукурузы составляет 3200 м³/га, где количество поливов 9 при поливной норме 355,55 м³/га. Годовая норма утилизации жф по азоту 330 м³/га. Месячная годовая норма утилизации жф составит $330/9 = 36,66$ м³/га. Поливная норма оросительной воды ($m_{ОВ}$), будет: $m_{ОВ} = 318,89 + 36,66 = 355,55$ м³/га. При этом оросительная норма кукурузы на зерно дождеванием останется прежней $3199,95 \approx 3200$ м³/га.

Объём, который забирается из источника орошения уменьшится на объём жф и составит $- 813760 - 83919 = 729841$ м³. Коэффициент разбавления жф водой источника равен: $83919/729841 = 8,7$.

Следовательно, потребуется уменьшение забора воды из Новокубанского канала на 330 м³/га. При этом оросительная норма не изменится и составит $- 2869,56 + 330 \approx 3200$ м³/га. Экономия воды источника орошения в год при составит - 83919 м³.

График утилизации согласуется с опорожнением МБР. Далее жф разбавляется природной водой для процесса утилизации «оросительной воды» дождеванием при выращивании кукурузы.

С площади орошения 254,3 га выносятся биогенные элементы урожаем кукурузы, и, в почву, в это же время, поступают определённое количество биогенных элементов с оросительной водой (табл. 4).

Таблица 4 – Годовой баланс NPK

Культура	Площадь нетто, га	Урожайность ц/га	Вывос с 1ц урожая, кг/га			Утилизация жф, м ³ /га			Расчётная норма, м ³ /га
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
кукуруза	254,3	140	1,18	0,52	1,17	357	794	105	355,55

Таблица 5 – Сводная таблица доз удобрений по выращиванию кукурузы

Виды удобрений	Урожай ц/га	Дозы удобрений, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
жф	140	110	50	115
минеральные удобрения		20	10	-
избытки удобрений		-	-	-25
всего удобрений		130	60	90

Из анализа данных таблицы 5 следует, что на севооборотном участке обеспечивается снижение дозы внесения минеральных удобрений за счет минерализации биогенных элементов от утилизации жф.

Для подтверждения данной гипотезы о накоплении биогенных элементов при утилизации жф приведены исследования по минерализации органического вещества на севооборотном орошаемом участке площадью 254,3 га. Результаты исследования по минерализации органического вещества в почве от утилизации жф дождеванием приводятся в таблице 6.

Таблица 6 - Минерализация органического вещества при дождевании ОВ, кг/га

Показатели	Биогенные элементы, кг/га		
	N	P	K
Требуется минеральных удобрений расчетной дозой	130	60	90
Поступление NPK с ОВ после минерализации	188	55	142
Внесение всего удобрений (доза + ОВ)	130	60	115
Поступление удобрений с дождеванием	130	60	115
Баланс поступления NPK в почву с ОВ (избыток)	-	-	25

Анализ результатов исследования показывает (табл. 6), что при утилизации жф дождеванием органические удобрения переходят в

минеральную форму и становятся доступными биогенными элементами для сельскохозяйственных культур.

Выполнена оценка эффективности операторной модели. Установлено повышение плодородия почв при утилизации жф дождеванием. Химический состав почвы опытного участка до орошения и после при утилизации жф дождеванием на нём приводится в таблице 7.

Таблица 7 – Биогенные элементы в почве, кг/га

Характеристика почвы	Подвижный фосфор	Обменный калий	Общий азот	в том числе		Гумус
				Азот минеральный	Азот из гумуса	
Неорошаемая ОВ	357,6	111,6	4784	104	4680	93600
Орошаемая ОВ	472,68	395,2	9852	297	9555	191100
Биогенные элементы в почве от ОВ	115,08	283,6	5068	193	4875	97500

Из таблицы 7 видно, что в химическом составе почвы опытного участка произошло увеличение биогенных элементов, где преобладают калий и азот при относительном недостатке фосфора. Валовый гумус от ОВ при утилизации жф увеличился и составляет 97500 кг/га. Выполнялась оценка плодородия участка от внесения биогенных элементов и минеральных удобрений при дождевании. Приведён сводный расчёт поступления биогенных элементов в почву (табл. 8).

По данным Е. А. Ягодина и др. коэффициент гумификации принимается $K_r = 0,15$. Из органического вещества ОВ получается гумус, который накапливается в почве после утилизации и минерализации органического вещества жф дождеванием. Коэффициент биохимического окисления органического вещества ($K_o = 0,4$) находили по рекомендации О.Б Хохловой. При этом улучшается мелиоративное состояние почв. Причём после утилизации жф обменного калия в почве накапливается в избытке. Определен состав и количество биогенных элементов, поглощаемой кукурузой на зерно, который учитывался при повышении плодородия почв.

В результате выполненных исследований по утилизации жф на опытном участке дождеванием можно сделать *выводы об эффективности внедрения операторной модели.*

Таблица 8 – Поступления биогенных элементов с ОВ в почву, кг/га

Показатели	Подвижный фосфор	Обменный калий	Общий азот	в том числе		Гумус
				Азот минеральный	Азот из гумуса	
почва, орошаемая оросительной водой	115,4	283,6	5068	193	4875	97500
поступление биогенных элементов (при орошении ОВ)	26	46	85,2	45	40,2	804
при внесении минеральных удобрений	6	-	12,8	8	4,6	92
поступление после минерализации и гумификации растительных остатков и корней	32	165	126,8	76	50,8	1016
всего	64	211	224,6	136	95,8	1912

Оценка пригодности животноводческих стоков определяется по суммарному содержанию токсических солей:

$$C_{\text{дт}} = 10 \cdot (M+P/M) \cdot (200/HB_{50}) = 12,05 \cdot 200 \cdot 320 / 200 \cdot (320+350) = 0,57 < 1,0.$$

Следовательно, поступление токсических солей с оросительной водой не приводит к превышению критического содержания опасных водорастворимых солей в почве.

Выполнена оценка оросительной воды по опасности осолонцевания почв. Одним из надежных показателей качества оросительной воды является отношение содержания в ней ионов Na^+ к сумме ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} , которое влияет на активность иона Na^+ и на его способность внедряться в ППК:

$$Na^+ / \sqrt{Mg^{2+} + Ca^{2+}} = 2,15 / \sqrt{6,45 + 6,0} = 0,61 < 2 \cdot K_1 \cdot K_2 = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,0.$$

Выполнена оценка оросительной воды по опасности развития процессов засоления и осолонцевания почв участка утилизации жф дождеванием по формуле:

$$SAR_y = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(M+P)}{M} \times (Ca+Mg+K+NH_4) \times 0,5}}. \quad (7)$$

$$SAR_Y = 2,15 / \sqrt{\frac{330+350}{330}} \times (6,45 + 6,0 + 4,0 + 3,3) \times 0,5 = 0,47.$$

Оценка качества оросительной воды по опасности развития процесса засоления и осолонцевания почв по шкале показателей SAR_Y равна 0,47 и относится к малоопасному классу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Установлено, что на агроландшафтах России происходит катастрофическое падение плодородия пахотных земель, содержание органического вещества в почвах уменьшается. В Краснодарском крае гумус в черноземных почвах снизился с 7-8 % до 3,5–5 %. Совершенствуются ресурсные технологии, которые применяются для утилизации отходов животноводства разделением навоза на фракции: жидкую и твердую. Однако, для утилизации жф применяются средства утилизации, имеющие низкую производительность, не обеспечивают должного качества и равномерности внесения на поля.

2. Разработана операторная модель, позволяющая на трёх подсистемных уровнях управлять технологическими операциями при выращивании 5,0 тыс. телят КРС на откорме. Первая подсистема подготавливает навоз к переработке, вторая – накаливает и выдерживает жф в биореакторах не менее 6 месяцев, третья подсистема утилизирует жф дождеванием. Установлена мощность операторной модели, которая составляет 93 кВт.

3. Разработаны технологические операции подготовки навозных стоков к переработке на твердую и жидкую фракции при средней влажности 93,4 %, где процесс переработки полидисперсной системы выполняется шнековым сепаратором SB-780/0,75 с подачей жф в 2 механических биореактора объёмом 42,0 тыс. м³ каждый. На орошаемой площади 254,3 га обосновано применение современных дождевальных машин для утилизации жф.

4. Разработан режим орошения дождеванием оросительной водой кукурузы на зерно. Установлен коэффициент разбавления жф к природной воде в соотношении 1 : 8,7, при этом норма орошения жф составляет 330 м³/га. Экономия объема природной воды Новокубанского канала для орошения кукурузы на зерно дождеванием составила 83919 м³.

5. Установлено повышение плодородия и мелиоративного состояния почв от утилизации жф дождеванием. В почве опытного участка возросло содержание гумуса на 0,9 %, общего гумуса на 2 % по сравнению с исходным состоянием. С оросительной водой в почву поступает: азота 130 кг/га; фосфора 80 кг/га; калия 90 кг/га. Суммарный экономический эффект от утилизации жф на мелиоративной системе в ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района составил 21, 838 млн. руб.

6. Выполнена оценка пригодности утилизации жф по суммарному содержанию токсических водорастворимых солей, поступление которых с оросительной водой не приводит к превышению их критических значений в почве. Оценка ОБ по развитию процессов засоления и осолонцевания почв участка утилизации жф дождеванием по индексу $SAR_Y < 1$.

Рекомендации производству

Применение процессов подготовки, разделения фракций и утилизации жф навозных стоков КРС дождеванием позволит обеспечить рациональное использование водных ресурсов, создаст условия круглогодичной непрерывной утилизации отходов тф и жф навоза на прилегающих агроландшафтах, повышения накопления органического вещества в почве. Утилизация жф дождеванием улучшает мелиоративное состояние почвы повышает агроресурсный потенциал агроландшафтов.

Данную ресурсную технологию утилизации жф навозных стоков можно применять на животноводческих комплексах в качестве типовой с учетом климатических факторов и наличия мелиоративной системы.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Круглогодичная и непрерывная переработка животноводческих отходов КРС обеспечит новый подход к разработке ресурсосберегающих технологий восполнения жидкими органическими удобрениями почв дождеванием, что повлечет за собой увеличение урожая сельскохозяйственных культур, но и создаст условия для получения компостов и биокомпостов из тф животноводческих стоков. Новые ресурсо-

сберегающие технологии в составе операторной модели обеспечивают замкнутый цикл непрерывного восполнения органических питательных веществ в почве.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, индексируемых в *Scopus* и *Web of Science*:

1. Kuznetsov E.V. Operator model to control process of obtaining vermicompost / Kuznetsov, E.V., Khadzhibi, A. E., Poltorak, Y.A., Kuznetsova, M. // Eurasian Journal of Biosciences, 2019 - Volume 13 Issue 1, pp. 315-320.
2. Kuznetsov E.V. Protection of agro-resource cooperation of agrolandscapes from wastewater pollution / Kuznetsov, E.V., Khadzhibi, A. E., Kuznetsova, M. // Bioscience Biotechnology Research Communications. - Special Issue. - Vol 12 (5) September. – 2019. - pp. 140-145. ISSN: 0974-6455.
3. Anna Khadzhibi. Method of managing the agricultural resource potential of agrolandscapes / Anna Khadzhibi, [other] // E3S Web of Conferences 273, 06005 (2021) INTERAGROMASH 2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127306005>.
4. Kuznetsov E. Modelado de los omponentes del medio natural / Kuznetsov, E., Khadzhibi, A., Kuznetsova, M., Pushenko, S. // Nexo Revista Científica. 2021. - 34(04), 1272–1281.
- в изданиях, рекомендованных ВАР:
5. Хаджи́ди, А.Е. Проблема утилизации очищенных сточных вод перерабатывающих сельскохозяйственных предприятий на земельельческих полях орошения / Хаджи́ди, А.Е., Кузнецова, М.Е. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. - Вып. 5(38). - С.156-163.
6. Кузнецов, Е.В. Оценка мелиоративного состояния почв оросительных систем / Кузнецов, Е.В., Хаджи́ди, А.Е. Кузнецова, М.Е., Куртнезирова, А.Н. // Успехи современного естествознания. 2018. - № 11. - С. 49-53.
7. Кузнецова, М.Е. Комплексная утилизация жидкой фракции навоза крупного рогатого скота дождеванием/Кузнецова, М.Е., Хаджи́ди, А.Е., Кузнецов, Е.В., Полторак, Я.А.//Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. - № 4(32). - С. 77–88.

8. Кузнецов, Е.В. Оросительная система с использованием животноводческих стоков / Кузнецов, Е.В., Хаджиди, А.Е., Кузнецова, М.Е., Куртнезирова, А.Н., Килиди, Х.И., Колесниченко, К.В. // Успехи современного естествознания. 2019. - № 3 (часть 2). - С. 198-203.

9. Кузнецова, М.Е. Система переработки навоза в жидкие удобрения для утилизации орошением сельскохозяйственных культур / Кузнецова, М.Е., Хаджиди, А.Е. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2019 - №08(152).

- *патенты на изобретения:*

10. Пат. RU2774082 С1 Система для непрерывной утилизации жидкой фракции навоза крупного рогатого скота [Текст] / Е. В. Кузнецов, М.Е. Кузнецова, А.Е. Хаджиди. (РФ) заявитель и патентообладатель Куб. гос. Аграр. ун-т. // Заявл. № 2021133221, 15.11.2021: Опубл. 15.06.2022.

11. Пат. РФ. № 2774905 С1. Способ непрерывной утилизации жидкой фракции навоза крупного рогатого скота [Текст] / Е. В. Кузнецов, М.Е. Кузнецова, А.Е. Хаджиди. (РФ) заявитель и патентообладатель Куб. гос. Аграр. ун-т. // Заявл. № 2021133207, 15.11.2021: опубл. 24.06.2022.

- *монография*

12. Сохранение земельных ресурсов при утилизации очищенных животноводческих стоков: монография / Кузнецов Е.В., Кузнецова М.Е., Семенова Н.Н. - Краснодар: КубГАУ, 2019. – 97 с.

- *в прочих изданиях:*

13. Кузнецов, Е.В. Инновационная технология утилизации отходов крупного рогатого скота/ Кузнецов, Е.В., Хаджиди, А.Е., Кузнецова, М.Е. // Проблемы развития предприятий: теория и практика: материалы 17-й Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 дек. 2018 г.: в 3 ч. - Ч. 3. Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та, 2018. С. 269-273.

14. Кузнецова, М.Е. Анализ способов утилизации отходов крупного рогатого скота / Кузнецова М.Е., Хаджиди, А.Е. // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. КубГАУ, г. Краснодар, №2(29). С.241-248.

15. Кузнецов, Е.В. Переработка отходов животноводческих предприятий / Кузнецов, Е.В., Кузнецова, М.Е. // Научные труды

КубГТУ: по матер. II Междунар. науч.-практ. конф. "Безопасность и ресурсосбережение в техносфере", 18-19 апреля 2019 г. Краснодар. № 3. 2019. С.864-873.

16. Кузнецов, Е.В. Формирование севооборотов для устойчивого развития сельскохозяйственных земель / Кузнецов, Е.В., Хаджиди, А.Е., Кузнецова, М.Е. // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений: сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. / отв. за вып. Е. В. Яроцкая. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – С. 417-421.

17. Кузнецова М. Е. Обеспечение экологической безопасности при размещении сооружений очистки отходов крупного рогатого скота // Современные научные исследования в АПК: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Персиановский, 22 декабря 2022г.). В 3 т. Т. II. – Персиановский : Донской ГАУ, 2022. – С. 238-241.

Кузнецова Маргарита Евгеньевна

**Утилизация жидкой фракции навоза КРС
на агроландшафтах дождеванием**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __.__.2023. Уч.-изд. л. – 1,0.
Тираж 100. Заказ №____
Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13