Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 502.3

Эколого-экономическая эффективность инновационных природоохранных проектов агропромышленного комплекса

Ильясов О.Р.[1], Ковалева О.В.[2], Виноградов Д.В.[3], Лопаева Н.Л.[1], Гаврилин И.И.[4]

[1] Уральский государственный университет путей сообщения

[2]Тюменский государственный университет

[3]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева

[4]Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

Аннотация

Статья посвящена решению проблемы загрязнения водных объектов сточными водами животноводческих комплексов, созданных в середине XX века. Экологическая нагрузка каждого такого предприятия сопоставима с воздействием мегаполиса, что обусловливает приоритетность модернизации систем водоочистки. В работе приводится объективное противоречие между необходимостью расширения производства и охраной природы в условиях ограниченности ресурсов. Для разрешения данного конфликта обосновывается применение комплексного подхода к оценке инвестиций, базирующегося на методе «затраты – выгода». Ключевая особенность предлагаемой методики – паритетный учет экономических и экологических результатов: затраты включают не только финансы, но и ущерб природным ресурсам, а выгода объединяет рост прибыли с предотвращенным экологическим ущербом. На примере технологии гидросмыва навоза показано, что локальная экономия оборачивается многократным ростом затрат на последующую очистку разбавленных стоков. В качестве альтернативы представлены результаты эколого-экономического анализа для свинокомплекса на 108 тыс. голов. Сравнение традиционной схемы (гидросмыв, поля орошения) с прогрессивной (раздельное удаление навоза, переработка жидкой фракции в гидропонный корм) демонстрирует преимущества последней. За счет отказа от гидросмыва объем стоков сокращается в 5,5 раза (с 2694 до 514 м³/сут.), а годовая экономия воды превышает 2 млн м³. Утилизация стоков в цехе гидропоники требует всего 6,5 га против 3000 га под поля орошения и обеспечивает производство 23,7 тыс. т корма. А это значит, что создание замкнутых систем водопользования гарантирует полное предотвращение сбросов и высокую экономическую эффективность.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЯ УБОРКИ НАВОЗА, СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД, РЕГЕНЕРАЦИЯ, ЗЕЛЕНЫЙ КОРМ, ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА, НАВОЗ, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ

Введение

Проблема загрязнения водных источников сточными водами, содержащими навоз и помет, возникшая в середине прошлого века вследствие государственной политики, направленной на создание крупных животноводческих и птицеводческих предприятий, до сих пор остается актуальной. По всей стране количество построенных крупных комплексов по выращиванию и откорму крупного рогатого скота и свиней превышает 100, а с учетом средних предприятий достигает 2500. Масштаб экологической нагрузки каждого такого хозяйства эквивалентен воздействию мегаполиса с населением до миллиона человек. Это делает технологическую модернизацию систем водоочистки приоритетной задачей [1–3].

Чтобы конкурировать с высокомеханизированным производством, фермеры замещают ручной труд инновационными технологиями. Модернизация процессов содержания животных становится необходимым условием выживания мелких хозяйств в современной рыночной среде. Предлагаемая стратегия обновления систем водоотведения направлена на ликвидацию сбросов животноводческих отходов. Переход к экологически безопасным циклам не только минимизирует антропогенную нагрузку, но и оптимизирует затраты хозяйств на оплату водных ресурсов, обеспечивая быструю окупаемость решений.

Развитие общественного производства сталкивается с рядом противоречий. Рост материального благосостояния общества неразрывно связан с расширением производственных мощностей [4, 5]. Однако такая стратегия требует не только масштабного инвестирования, но и неизбежно ведет к интенсификации антропогенного воздействия на окружающую среду. Параллельно с этим, поддержание экологического благополучия требует вложений в защитные и восстановительные мероприятия. В условиях жесткого лимита материальных и финансовых средств возникает объективный конфликт приоритетов между развитием производства и охраной природы.

Подобные обстоятельства диктуют необходимость поиска оптимальных направлений капиталовложений. Особое внимание следует уделять тем решениям, которые обеспечивают предельную эффективность использования ограниченных ресурсов. Для объективного анализа инвестиционных решений рекомендуется использовать

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

комплексный подход. Он предполагает оценку всего спектра последствий – от прямой прибыли до сопутствующих негативных эффектов, позволяя увидеть полную картину реализации проекта.

Ключевым условием для внедрения этой методики является признание эквивалентности экономических и экологических целей. Только при соблюдении баланса между финансовой выгодой и природной безопасностью возможна объективная оценка проектов. Отказ от этого принципа часто порождает дисбаланс: перспективные экологические инициативы отвергаются как низкодоходные, в то время как проекты, наносящие ущерб природе, получают одобрение исключительно из-за их краткосрочной финансовой привлекательности [6–9].

Внедрение обновленной стратегии анализа инноваций в области водопользования базируется на применении метода «затраты – выгода». Этот инструмент позволяет соотнести необходимые вложения с комплексным эффектом от реализации проектов. В рамках данной концепции категория «затраты» трактуется расширенно: она включает не только прямой расход материально-финансовых средств, но и сопутствующий ущерб природно-ресурсному потенциалу [10, 11]. Таким образом, в расчет принимаются любые негативные экологические последствия, возникающие в ходе реализации проекта. Категория «выигрыш» носит комплексный характер и объединяет прямые экономические выгоды, такие как рост выручки, с экологическими эффектами. В частности, учитывается существенное сокращение или полное предотвращение негативного воздействия на окружающую среду.

При формировании замкнутого цикла на животноводческом комплексе структура затрат включает полный технологический цикл: от удаления навоза и его сепарации на фракции до кондиционирования и сбыта готовой продукции. Кроме того, учитываются обязательные платежи за природопользование, включая водный и земельный налоги, а также компенсационные выплаты и штрафные санкции за экологический ущерб. Экономическая выгода в данном случае складывается из двух составляющих: прямой прибыли от реализации новых видов продукции и прироста рыночных показателей по основному направлению деятельности [4, 12].

До недавнего времени при проектировании хозяйств и систем утилизации стоков практиковался узкий подход. Ограниченное число рассматриваемых сценариев не позволяло в полной мере учитывать совокупность экономических и природоохранных

последствий реализации проектов. В подобных условиях базовые требования к объективности оценок игнорировались. Отсутствие системного подхода к расчету эколого-экономического эффекта не позволяло получить достоверное представление о реальной результативности инвестиционных проектов.

Необходимо признать, что в отечественной практике эксплуатация и охрана водных ресурсов зачастую искусственно разделены, несмотря на их неразрывную связь в рамках единого экологического баланса. Эта разобщенность приводит к тому, что технологические циклы производства продукции и процессы очистки стоков проектируются автономно, нередко силами разных организаций, что исключает комплексный подход к управлению водным хозяйством.

Ярким примером игнорирования принципа паритетности является широкое применение технологии уборки навоза методом гидросмыва. Несмотря на ее экономическую привлекательность по сравнению с механическими методами, последующая обработка сильно разбавленных стоков и их утилизация часто выносятся в отдельный проект. В результате технологи, отвечающие за основное производство, стремятся снизить затраты, в том числе за счет операций по удалению навоза, а специалисты по водообеспечению и очистке стоков не занимаются вопросами минимизации их образования.

Оценка эффективности водохозяйственных систем должна базироваться на трехстороннем анализе: технологическом совершенстве, экологической безопасности (объеме антропогенной нагрузки) и экономической целесообразности затрат на природоохранные меры. При сопоставлении альтернативных решений обязательным условием является соизмеримость и паритетность достигнутого экологического эффекта [2, 13-19].

Надежность функционирования водохозяйственной системы также является важным экологическим критерием. Например, замкнутая система водопользования гарантирует предотвращение попадания загрязнений в водные объекты и на сельскохозяйственные угодья, в то время как использование сточных вод на земледельческих полях орошения (ЗПО) из-за сложности контроля гидравлического режима не обеспечивает аналогичной защиты [20-22].

Целью данной работы являлось проведение эколого–экономического анализа распространенных технологий уборки навоза, подготовки и утилизации сточных вод для

совершенствования существующей балансовой схемы водопотребления и водоотведения свинокомплекса.

Технические решения представленные в данном исследовании, направлены на радикальное повышение экологической безопасности животноводческих комплексов. Применение метода раздельного навозоудаления позволяет кратно снизить выход навозосодержащих стоков, подлежащих переработке, в то время как переход на бессточный режим функционирования гарантирует полную изоляцию водоисточников от производственных загрязнений.

Объекты и методы

Объектом исследований являлся свинокомплекс мощностью 108 тыс. голов в год. Удельный выход навоза и сточных вод на 1 голову в сутки был взят на основании представленных предприятием данных по всем половозрастным группам животных. Исследования проводили методами анализа и синтеза технологий удаления, обработки и использования сельскохозяйственных отходов, оценки технологий по косвенным и эколого-экономическим критериям. Проведение эколого–экономического анализа распространенных технологий уборки навоза, подготовки и утилизации сточных вод, выполнены с использованием программного комплекса «Выбор» по трем направлениям согласно принципу «технологическое совершенство – экологическая безопасность – экономическая целесообразность».

Экологическая оценка проводилась на основании данных ежегодного мониторинга, которые фиксировались в базе данных [23].

Расчет совокупных затрат (З) проводился по формуле:

$$З = К + С + У,$$

где К – капитальные вложения (строительство очистных, покупка сепараторов, строительство теплиц/ЦЗК).

С – текущие эксплуатационные затраты (электроэнергия, вода, зарплата, транспортировка торфа/компоста).

У – плата за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) + штрафы за превышение лимитов (рассчитывался по постановлению Правительства Российской Федерации от 31 мая 2023 г. N 881).

Расчет совокупной выгоды (В):

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

$$В = П + Э_{эк},$$

где: П – прямая прибыль от реализации продукции:

Продажа твердой фракции как удобрения.

Продажа/использование зеленой массы из гидропоники (экономия на закупке комбикормов).

$Э_{эк}$

– экологический эффект, выраженный в денежном эквиваленте (в данном случае это величина предотвращенного ущерба

$У_{пр}$

или сумма сэкономленных платежей за НВОС и водопотребление).

На основании проведенных расчетов была скорректирована балансовая схема водопотребления и водоотведения свинокомплекса мощностью 108 тыс. голов в год.

Результаты и обсуждение

Одним из наиболее объемных и доступных источников энергии является биологическая субстанция, которая включает в себя не только отходы животноводства, но и растительные остатки, образующиеся в процессе сельского хозяйства. К сожалению, многие из этих материалов часто ошибочно классифицируются как бесполезные отходы, хотя на самом деле они представляют собой ценный ресурс. Так, менее 15% от общего объема производимого навоза используется по своему основному назначению — в качестве органического удобрения. Кроме того, в процессе транспортировки и применения навоза от животного до корневой системы растений теряется значительное количество органического вещества и биогенных элементов, таких как азот, фосфор и калий. По различным данным, потери по азоту могут достигать 70%, а по фосфору и калию составляют около 40-50%. Эти потери подчеркивают неэффективность существующих методов управления навозом и указывают на необходимость оптимизации процессов его использования. Стоит отметить, что биогенные элементы, в частности азотные соединения, являются основными загрязняющими веществами, которые негативно влияют на все ключевые компоненты окружающей среды. Они могут загрязнять поверхностные воды, почву и атмосферный воздух, что создает серьезные экологические проблемы.

Оптимизация эколого-экономических параметров достигается путем проектирования водного хозяйства как интегрированного комплекса. Это обеспечивает

сквозной контроль и эффективное управление потоками ресурсов на всех производственных этапах – от первичного водозабора до финальной утилизации отходов [24, 25].

Итоги эколого-экономического анализа распространенных технологий уборки навоза, подготовки и утилизации сточных вод, выполненные с использованием программного комплекса «Выбор» (табл. 1), демонстрирует, что наиболее экологичные технологии обладают преимуществами не только в части защиты водных ресурсов, но и по экономическим показателям.

Таблица 1. Эффективность технологий уборки навоза, подготовки и утилизации сточных вод (свиноферма мощностью 108 тыс. голов в год)

Основные технологические процессы		Интегральные затраты, руб.
Обработка сточных вод	Утилизация сточных вод	
Выделение твердой фракции навоза на сооружениях механической очистки Биологическая очистка сточных вод	Земледельческие поля орошения	3197338
Выделение твердой фракции навоза на сооружениях механической очистки		1704640
Выделение твердой фракции навоза при раздельном удалении Обезвоживание твердой фракции на пресс-фильтре		972346
Выделение твердой фракции навоза на сооружениях механической очистки	Рыбоводно-биологические пруды	1238442
Выделение твердой фракции навоза при раздельном удалении Обезвоживание твердой фракции на пресс-фильтре		530915
Выделение твердой фракции навоза при раздельном удалении Торфокомпостирование твердой фракции	Цех зеленых кормов	723053
Выделение твердой фракции навоза при раздельном удалении Обезвоживание твердой фракции на пресс-фильтре		483209

Внедрение системного подхода, предполагающего интеграцию всех объектов в единую структуру с общим водным циклом, позволяет анализировать эффекты от модернизации комплексно. В отличие от локальных решений, такой метод учитывает влияние реконструкции каждого звена на устойчивость всего предприятия. Результативность данной методологии подтверждается на примере оптимизированной водохозяйственной системы (ОВХС) крупного свинокомплекса мощностью 108 тысяч

голов в год.

На рис. 1 и 2 представлены балансовые схемы водопотребления и водоотведения для данного комплекса. Схема на рис. 1, разработанная согласно устаревшим нормативам (ОНТП 17-86), предполагает использование гидросмыва для уборки навоза, механическое разделение стоков, приготовление торфокомпостов и использование жидкой фракции для полива на ЗПО.

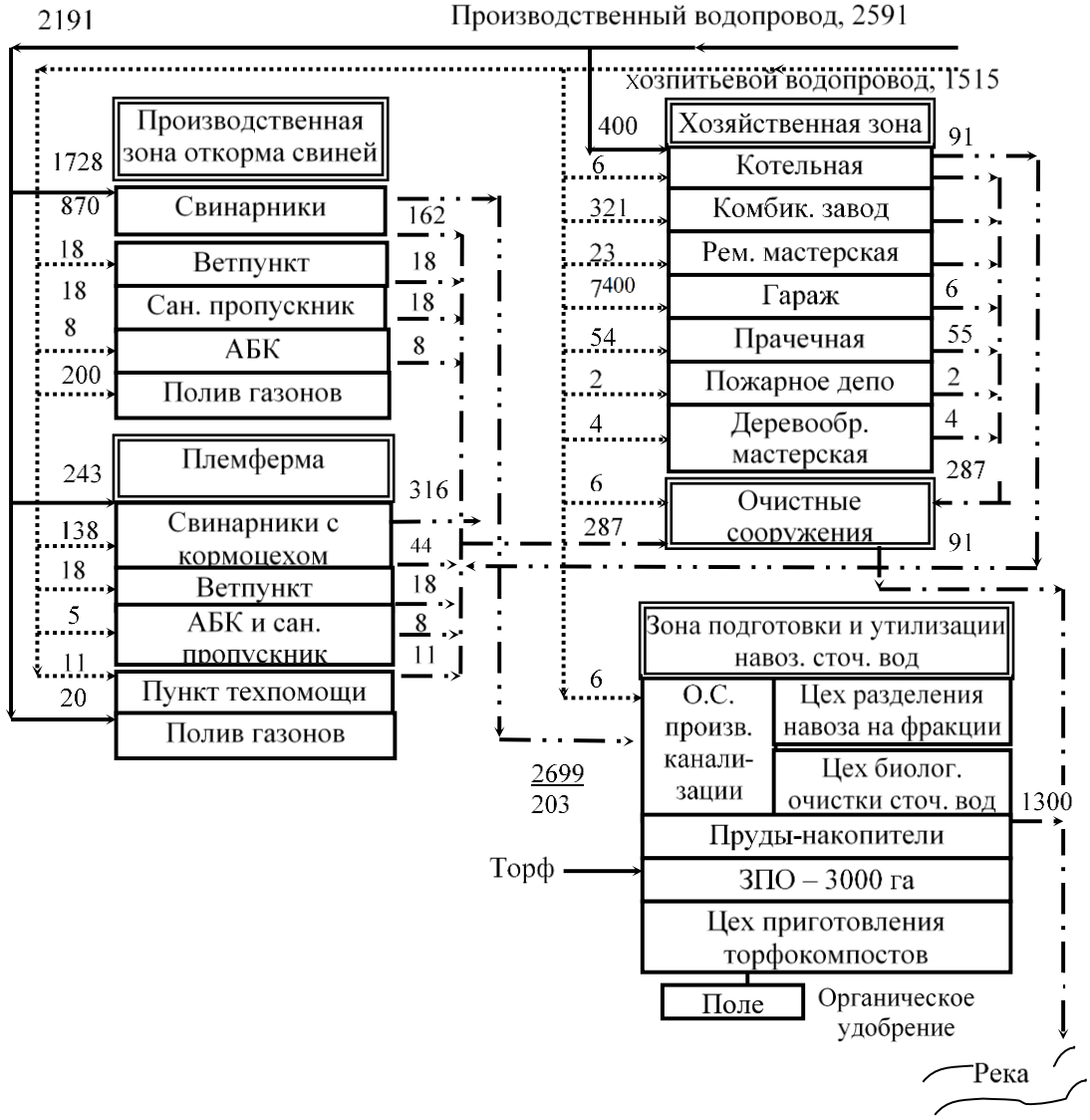

Рис. 1. Балансовая схема водопотребления и водоотведения свинокомплекса мощностью 108 тыс. голов в год (существующая)*

производственный водопровод
хозпитьевой водопровод
хозбытовая канализация
производственная канализация

2699 / 203 вода от технологических операций моча животных

*Примечание: все расходы даны в куб. м в сут.; О.С. – очистные сооружения; х-б канализация – хозбытовая канализация, АБК – административно-бытовой комплекс.

Данный вариант связан со значительными экономическими и экологическими проблемами: необходимостью строительства мощных очистных сооружений, ежедневной транспортировки тысяч тонн торфа и торфокомпоста, привлечения большого числа работников и развития социальной инфраструктуры, а также отвода под ЗПО около 3000 га земель и строительства прудов-накопителей.

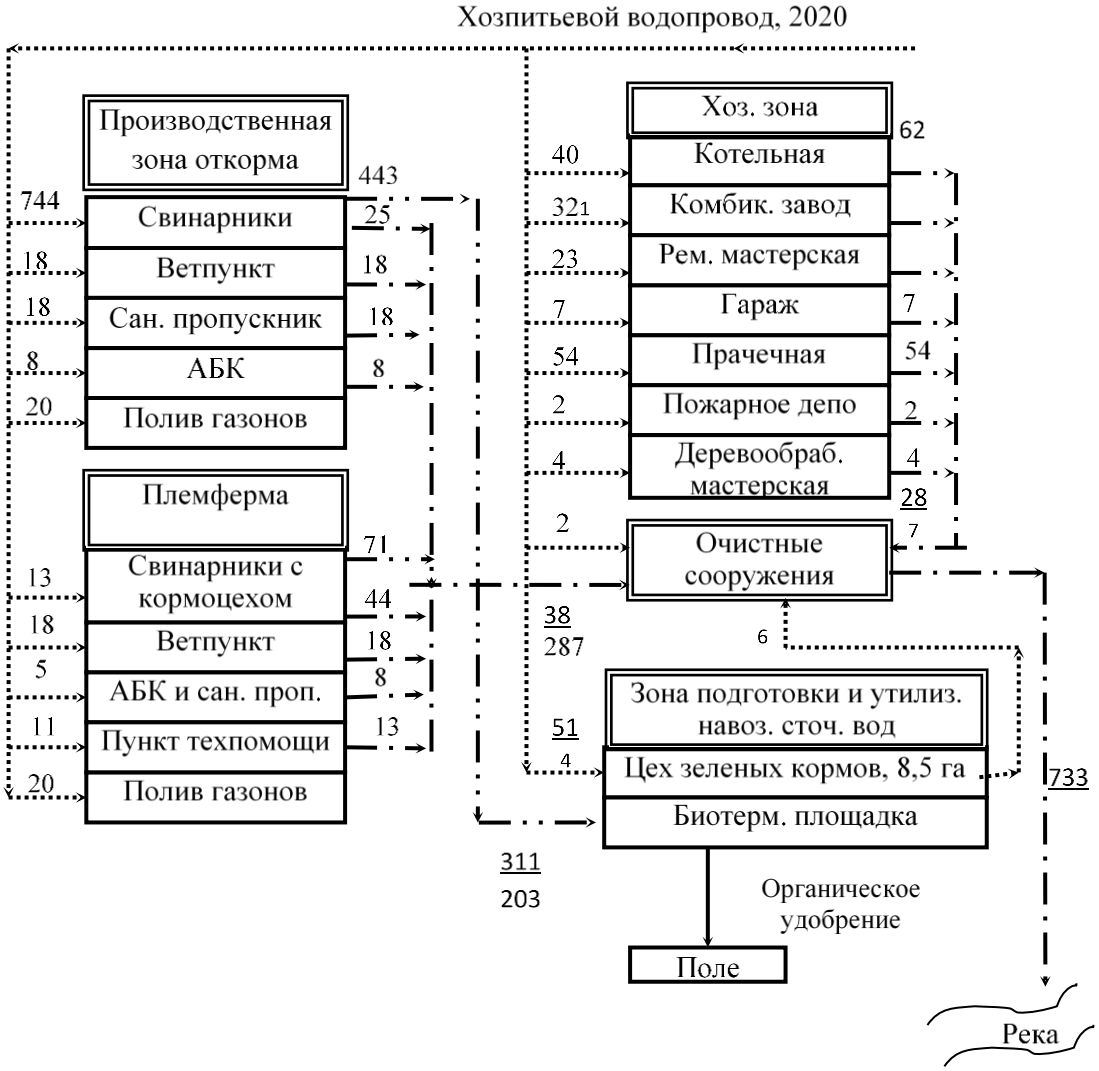

Рис. 2. Балансовая схема водопотребления и водоотведения свинокомплекса мощностью 108 тыс. голов в год (предлагаемая)*

хозпитьевой водопровод

хозбытовая канализация

— · · — · ▸ производственная канализация
311 вода от технологических операций
203 моча животных
*Примечание: все расходы даны в куб. м в сут.

Представленная на рис. 2 скорректированная прогрессивная схема, предусматривает устройство щелевых полов, раздельное механическое удаление навоза, обеззараживание твердой фракции и использование жидкой фракции в роли питательной среды для непрерывного производства витаминных кормов методом гидропоники на базе специализированного цеха (ЦЗК). Сравнение схем демонстрирует существенно более рациональное использование водных ресурсов в предлагаемом варианте.

Общее водопотребление за счет отказа от гидросмыва сокращается более чем вдвое. Количество образующихся навозосодержащих стоков уменьшается с 2694 до 514 м³/сут., то есть почти в 5,5 раза. Все стоки утилизируются в цехе зеленых кормов, где методом гидропоники производится кормовая зелень. Учитывая, что влажность такого корма (около 85 %) близка к влажности комбикормов, разводимых водой для откормочных свиней, достигается дополнительная экономия водопроводной воды на 25–26 %.

Отдельное внимание заслуживает возможность использования сточных вод котельной от регенерации ионообменных фильтров, которые содержат значительное количество солей (около 260 кг/сут.). После механической очистки эти воды могут применяться для разведения комбикормов, что позволяет сократить завоз поваренной соли и снизить солевую нагрузку на водные объекты.

В предлагаемом варианте балансовой схемы реализованы следующие резервы экономии свежей воды: замена гидросмыва на раздельное удаление навоза (экономия 2180 м³/сут.), увеличение площади щелевых полов (экономия 125 м³/сут.), использование влажных зеленых кормов (экономия 60 м³/сут.) и отказ от орошения ЗПО (экономия 1 305 000 м³/год сезонно). Общая годовая экономия превышает 2 млн м³.

Предлагаемый вариант с утилизацией стоков в цехе зеленых витаминных кормов (ЦЗВК) является предпочтительным как с экологической, так и с экономической точек зрения. Для утилизации стоков требуется теплица площадью около 6,5 га против 3000 га под ЗПО. Годовой сбор зеленого корма с этой площади составляет 23 760 т. Экологическая безопасность гидропонного метода, надежность производства корма, отсутствие необходимости в консервации и хранении, а также экономия воды делают данный вариант

конкурентоспособным во многих регионах страны.

Заключение

Применение системного подхода при экологизации животноводческого предприятия позволяет не только значительно экономить воду, но и сократить сброс недостаточно очищенных стоков почти на 0,5 млн м³, а также уменьшить поступление в водные объекты около 100 т поваренной соли и более 50 т солей кальция и магния в год.

Создание замкнутых систем водообеспечения на основе гидропонных установок кардинально решает проблему загрязнения водных ресурсов жидкими отходами животноводства и птицеводства. Отсутствие сброса сточных вод за пределы комплекса исключает загрязнение водоисточников. Высокая степень соответствия предлагаемых методов очистки естественным механизмам самовосстановления водоемов подтверждает фундаментальную экологичность данного научного направления. Оно ориентировано на создание технологического барьера, способного эффективно нивелировать разрушительное воздействие техногенеза на биосферу.

Список использованных источников:

1. Щур А.В., Виноградов Д.В., Вальков В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т. 11, № 4. – С. 139–148.

2. Ромашова Ю.А., Дельмухаметов А.Б. Совместное выращивание гидробионтов и растений как перспективное направление развития индустриальной аквакультуры // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК : Межд. науч.-практич. конф.. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский ГАУ, 2021. – С. 260–262.

3. Ковалева О.В., Костомахин Н.М., Лебедько Е.Я. Влияние биопрепаратов на состав осадка сточных вод молокоперерабатывающих предприятий // Аграрная наука. – 2020. – № 5. – С. 98–101.

4. Юрина Н.А., Данилова А. А., Максим Е. А. [и др.] Аквапоника как способ получения гидропонного корма // Сб. науч. трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2020. – Т. 9, № 1. – С. 121–124.

5. Ильясов О.Р., Ковалева О.В., Неверова О.П. [и др.] Защита водных экосистем от загрязнений с селитебных территорий // Российский научный вестник. – 2025. – № 1. – С. 76–78.

6. Tilman D., Cassman K. G., [et al.] Agricultural sustainability and intensive production

practices // Nature. – 2002. – Vol. 418, № 6898. – P. 671–677.

7. Патент № 2770056. РФ. Способ микробиологической очистки сточных вод прудов-накопителей сельскохозяйственных предприятий: № 2021100560: заявл. 13.01.2021: опубл. 14.04.2022 / О. В. Ковалева, Н. В. Санникова, О. В. Шулепова. – 8 с.

8. Богатырев К. С., Корнилов А.Г. Экологическое состояние поверхностных водных объектов под воздействием комплексов тепличных хозяйств // Геология, география и глобальная энергия. – 2020. – № 4(79). – С. 143–150.

9. Демидова С. Е., Балог М.М., Троян В.В. Устойчивое развитие и экологическая безопасность в аспекте "зеленой" проблематики // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2020. – № 5. – С. 87–107.

10. Tashyrev O. B., [et al.] Natural and synthetic solid carriers in flow module for microbial sewage filtrate purification // Biotechnologia Acta. – 2018. – Vol. 11, № 6. – P. 73–81.

11. Хабарова Т.В., Виноградов Д.В. [и др.] Агроэкологическая эффективность использования осадка сточных вод и вермикомпостов в агроценозе овса посевного // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 132–143.

12. Виноградов Д. В., Макарова М.П., Зубкова Т.В. Применение удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолита в агроценозах масличных культур // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 1. – С. 93–100.

13. Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Экологическое обоснование способа агрохимической мелиорации почв в условиях техногенеза // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 1(31). – С. 18.

14. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. [и др.] Безопасность жизнедеятельности : Учебное пособие. – Могилев – Рязань : РГАТУ, 2018. – 328 с.

15. Евтишина Е. В., Сазонкин К.Д., Виноградов Д.В. Перспективные направления сельскохозяйственного производства в Рязанской области // Вавиловские чтения - 2022. – Саратов: ООО "Амирит", 2022. – С. 695-700.

16. Крючков М.М., Виноградов Д.В., Соколов А.А. [и др.] Проблемы агрономии и агрохимии в современном сельскохозяйственном производстве // Научно-практические инициативы и инновации для развития регионов России. – Рязань: РГАТУ, 2015. – С. 102-105.

17. Виноградов Д.В., Конкина В.С., Правдина Е.Н. Методологические вопросы оценки эффективности управления затратами // Молодёжь в поисках дружбы : Республ. науч.-практич. конф. – Бохтар: Институт энергетики Таджикистана, 2017. – С. 20-28.

18. Ilinsky A.V., Vinogradov D.V., Politaeva N.A. [et al.] Features of the Phytoremediation by Agricultural Crops of Heavy Metal Contaminated Soils // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, No. 1.

19. Рыбаков В.В., Виноградов Д.В. Договор лизинга сельскохозяйственной техники в сфере обеспечения государственных нужд // Международный научный журнал. – 2015. – № 2. – С. 46-50.

20. Капитулина О.Н., Виноградов Д.В. Применение биологических препаратов - современный подход ресурсосберегающих технологий // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : XX Межд. науч.-практич. конф. – Саранск: НИ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2024. – С. 129-133.

21. Vinogradov D.V., Konkina V.S., [et al.] Developing The Regional System Of Oil Crops Production Management // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, No. 5. – P. 1276-1284.

22. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. [и др.] Радиоэкологическая эффективность биологически активных препаратов в условиях Беларуси // АгроЭкоИнфо. – 2015. – № 5(21). – С. 6.

23. База данных № 2022623299. Российская Федерация. Данные количественного химического анализа водных объектов: № 2022622968: заявл. 15.11.2022: опубл. 08.12.2022 / О. В. Ковалева, В. В. Пунегова. – 1 с.

24. Ковалева О. В. Экологическая оценка качества производственных стоков молокоперерабатывающих предприятий // Известия КГТУ. – 2025. – № 78. – С. 26–37.

25. Guo H., Shenglian L., Liang C. [et al.] Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium Bacillus sp. L14 // Bioresour. Technol. – 2010. – V. 101, № 22. – P. 8599.

Цитирование: Ильясов О.Р., Ковалева О.В., Виноградов Д.В., Лопаева Н.Л., Гаврилин И.И. Эколого-экономическая эффективность инновационных природоохранных проектов агропромышленного комплекса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2026. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2026/4/st_411.pdf DOI: https://doi.org/10.51419/202164411.