

На правах рукописи



АРАШАЕВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОЧИСТКИ ВОД ВОДОПОЯ ОВЕЦ
И МОЙКИ ШЕРСТИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Серпокрылов Николай Сергеевич

Официальные оппоненты

Фесенко Лев Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»
Юрьев Юрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доцент кафедры «Строительство»

Ведущая организация:

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «28» сентября 2021 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан « » _____ 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, доцент



Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В аридных зонах РФ, включая Калмыкию, овцеводство является традиционно базовой составляющей аграрной экономики. Экономика республики имеет преимущественную специализацию пастбищного овцеводства. На протяжении последних 5-10 лет наблюдается положительная динамика развития отрасли: поголовье овец увеличилось в 1,7 раза, в хозяйствах сельских поселений сосредоточена большая часть поголовья (46,2%), в крестьянских фермерских хозяйствах - 37,1%. Выращивание овец и производство продуктов из них составляют основу занятости трудоспособного населения, обеспечивая тем самым экономическую безопасность сельских поселений аридных территорий.

Практически фермерские овцеводческие хозяйства представляют "автономные" образования, реальных организованных форм кооперации между ними нет: полное отсутствие промышленных боен, предприятий первичной переработки мяса, узлов первичной обработки шерсти, очистки минерализованных вод для водопоя.

Такой способ хозяйствования приводит к повышенному расходу ресурсов и, как следствие, к повышению себестоимости и снижению конкурентоспособности продукции. Одним из направлений повышения ресурсосбережения и экономичности, практически не рассматриваемым в литературных источниках по овцеводству, является экологизация фермерских хозяйств путем создания водопойных узлов на базе местных подземных источников водоснабжения и разработки установки по местной мойке шерсти с замкнутым циклом очистки вод.

Актуальной для экологии и экономики фермерских овцеводческих хозяйств может быть разработка и создание мобильной установки для очистки вод для водопоя овец, а также мойки шерсти, при этом одна установка в рамках кооперации может обслуживать несколько смежных ферм.

Для обоснования данных положений необходима их теоретическая и экспериментальная проработка с учетом региональных особенностей фермерских хозяйств республики Калмыкия.

Цель работы: повышение эффективности фермерских овцеводческих хозяйств аридных зон путем обоснования и создания локальных установок по водопое и мобильной по первичной мойке шерсти.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи исследований:**

- обоснование забора подземных вод в районе загонов животных с очисткой вод до нормативных требований к водопое с использованием в качестве реагента шоколадных глин, месторождения которых имеются в северной части Калмыкии, в Приергенинском р-не;
- разработать мобильную технологию и установку очистки с повторным использованием очищенной воды;
- определить суммарный доход от практики повышения эффективности фермерского хозяйства.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиям способов очистки подземных вод для водопоя животных и очистки вод мойки шерсти овец

посвящены многие работы российских и зарубежных ученых: Азбукиной З.Б., Калининченко К.В., Кичигина В.И., Ласкова Ю.М., Онкаева В.А., Пугачева Е.А., Серпокрылова Н.С., Стрелкова А.К., Фесенко Л.Н., Швецова В.Н., Юрьева Ю.Ю., Calvet R., Prost R., Jarchow M. и др.

Они основывались на использовании известных, широко распространенных технологий применительно к большим животноводческим комплексам. В данной работе основное внимание уделено исследованию повышения эффективности овцеводческих хозяйств за счет применения локальных установок по водопою и мобильных - по мойке шерсти.

Объект исследования – локальные установки по получению воды для водопоя овец и мобильные по мойке шерсти.

Предмет исследования – технология и средства механизации фермерских овцеводческих хозяйств

Научная новизна полученных результатов:

- теоретически и экспериментально обоснованы технологические решения деминерализации подземных вод с применением шоколадных глин республики Калмыкия;

- определены технологические показатели очистки и повторного использования очищенных вод мойки шерсти с применением электрокоагуляции и сорбции.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

- уточнены дозы шоколадных глин республики Калмыкия для деминерализации подземных вод для водопоя овец;

- доказано, что электрохимическая обработка вод первичной обработки шерсти в щелочных условиях обеспечивает нормативы для повторного использования очищенных вод в технологических процессах.

Практическая значимость работы:

- разработаны рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации локальных сооружений по водопою и мойке шерсти;

- разработаны технологические схемы и конструктивные решения для проектирования мобильных установок куста фермерских овцеводческих хозяйств;

- технико-экономическими расчетами показано, что введение в фермерское хозяйство локальных сооружений повышает экологичность и рентабельность овцеводства.

Методология и методы исследования. В качестве методической и научной основы определения свойств и состава используемых в исследовании материалов использовались электронная микроскопия и термогравиметрия. Анализ воды в лабораторных и производственных испытаниях проводился физико-химическими методами с помощью сертифицированных иономерных приборов. Методы исследования включали: аналитическое обобщение известных научно-технических результатов, моделирование исследуемых процессов на испытательных установках, оснащенных контрольно-измерительными приборами, оптические и физико-химические методы анализа воды и твердой фазы на модельных установках. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием математической статистики и корреляционного анализа. Окончательные результаты

были подтверждены в аккредитованной лаборатории ОАО «ЮВЭнергочермет» (г. Ростов-на-Дону).

Положения, выносимые на защиту:

- деминерализация подземных вод с применением шоколадных глин республики Калмыкия для водопоя овец;
- электрохимический способ очистки вод мойки шерсти овец на мобильной установке с повторным использованием очищенных вод;
- разработка технологических схем и конструктивных решений для проектирования мобильных установок куста фермерских овцеводческих хозяйств.

Личный вклад соискателя: изучение источников патентных баз и литературы; постановка и формулирование исследовательских задач; участие в лабораторных и опытно-производственных исследованиях; обработка и анализ результатов полученных данных; формирование выводов, разработка предложений и технических решений по повышению экологичности и рентабельности овцеводства инновационных фермерских хозяйств; составление и регистрация патента на изобретение.

Степень достоверности и апробация результатов диссертационной работы.

Достоверность научных утверждений и выводов обосновывается использованием классических положений теоретического анализа, моделирования изучаемых процессов, статистической обработки полученных результатов, а также удовлетворительной сходимостью результатов, полученных в лабораторных и промышленных условиях (расхождение не более 5%). Достоверность обеспечивается публикацией работ на эту тему и обсуждением их на конференциях различного уровня в российских и международных журналах, которые реферируются специализированными изданиями. Результаты работы апробированы в СПК «Первомайский» республики Калмыкия.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах общим объемом 3,38 лично автором – 2,25 в том числе 3 работы опубликованы в изданиях ВАК; 1 – в СКОПУС издании; 5 публикаций по материалам конференций; 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов по главам, списка сокращений, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы составляет 123 страницы, в том числе 105 страниц основного текста, включая 15 таблиц, 24 рисунка и 15 страниц списка использованных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены положения научной новизны и практической значимости полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Основные принципы экологизации овцеводческих хозяйств» на основе анализа литературных источников, связанных с функционированием овцеводческих ферм и социально-экономического положения Калмыкии, выявлено, что в аридных зонах РФ овцеводство является традиционно базовой составляющей аграрной экономики и имеет преимущественную

специализацию пастбищного животноводства. Однако ввиду практически полного отсутствия мощностей по первичной обработке шерсти, износа оборудования на российских камвольных предприятиях имеет место диспаритет цен на шерсть и овчину на рынке и затрат на их производство, что снижает экономические показатели и перспективы развития отрасли.

К основным проблемам развития фермерского овцеводства в республике следует отнести отсутствие воды нормативного качества для водопоя овец и мойки шерсти, что существенно удорожает режим выращивания овец и получение шерсти и овчин.

Таким образом, создание водопойных узлов на базе местных источников подземных вод и установок по местной мойке шерсти с замкнутым циклом очистки вод является актуальным направлением повышения эффективности овцеводческих хозяйств аридных территорий.

Для обоснования данных положений необходима их теоретическая и экспериментальная проработка с учетом региональных особенностей фермерских хозяйств и климатических условий республики Калмыкия.

В главе 2 «Определение способов деминерализации подземных и поверхностных вод» отмечено, что дефицит доброкачественных поверхностных и подземных вод в республике Калмыкия для населения и животноводства определяют особенности технологий их обработки до нормативных величин. Это относится и к обработке производственных сточных вод, в т. ч. и вод мойки шерсти. Подземные и поверхностные воды республики Калмыкия имеют высокую минерализацию, применять их для поения животных без предварительного снижения солесодержания запрещено ветеринарными нормами.

Принципиальная технологическая схема очистки высокоминерализованных природных вод (рис. 1) включает процессы опреснения, обеззараживания, но для фермерских овцеводческих хозяйств является дорогостоящей, как при стационарном размещении, так и в мобильном исполнении. Технология может быть приоритетной при использовании в качестве сорбента природных местных материалов в виде шоколадных глин.

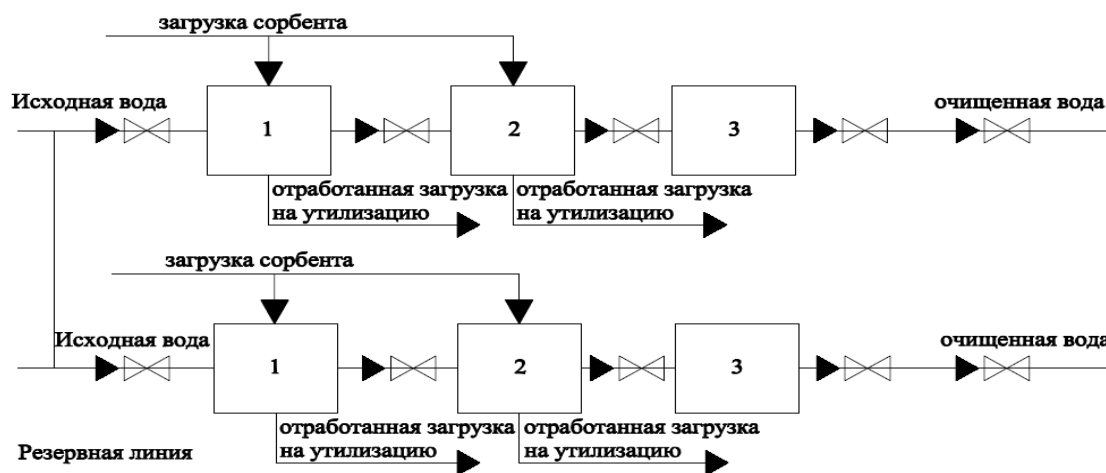


Рисунок 1 - Технологическая схема: 1 – узел опреснения; 2 – узел электрохимического обезвреживания; 3 – резервуар для чистой воды.

Оценка методов деминерализации вод показала, что для фермерских овцеводческих хозяйств с учетом климатических, географических и социальных условий комплексным эффектом обладает адсорбция с использованием глинистых минералов. Конкретно для условий Калмыкии это могут быть шоколадные глины, природные залежи которых имеются в Приволжском и Приергенинском районах республики.

Шоколадные глины – это глинистые минералы - представители слоистых силикатов, состоящих из тетраэдрических, октаэдрических и других кристаллических сеток, чередующихся определенным образом в каждом из минералов. В основной своей массе они имеют размер менее 0,004 мм, характеризуются развитой поверхностью и являются хорошими сорбентами. (А.А. Свиточ и др. Шоколадные глины северного Прикаспия, МГУ, 2017). Они характеризуются малой плотностью, большой влажностью и пористостью. В естественных условиях залегания глины находятся как в пластичном, так и в полутвердом состоянии. Для глинистых минералов наряду с ионным обменом характерны физическая и молекулярная сорбция. Также наблюдается небольшая способность к анионному обмену.

Полутвердые шоколадные глины имеют более низкую естественную влажность (23 - 30 %) и пористость (41 - 44 %), чем пластичные глины (табл. 1). В наших исследованиях применяли полутвердую глину Приергенинского района Калмыкии, влажностью 8,31%.

Процесс адсорбции включает массоперенос адсорбата из раствора на поверхность адсорбента и продолжается до достижения равновесия, описание его ведется с помощью кинетических и изотермических моделей по экспериментальным данным.

Изотерма адсорбции выражает зависимость количества материала, адсорбированного на единицу массы адсорбента, от равновесной концентрации адсорбата. Необходимые данные получают из экспериментов, где указанная масса адсорбента уравнивается известным объемом жидкости при определенной концентрации химического вещества, а полученная равновесная концентрация определяется по уравнениям (1, 2).

В исследованиях были экспериментально получены изотермы адсорбции, описываемые моделями Ленгмюра и Фрейндлиха, необходимые для установления механизма и кинетических характеристик процесса, применяемых в дальнейшем для расчета установок очистки вод.

Модель Ленгмюра в общем виде:

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot k \cdot c_e}{1 + k \cdot c_e} \quad (1)$$

где: q_e – плотность адсорбции при достижении равновесия, мг/г; c_e – фазовая равновесная концентрация в воде, мг/л; $q_{\max}$ – коэффициент, представляет собой насыщенную адсорбционную емкость монослоя, то есть максимальную концентрацию в твердой фазе (адсорбенте), мг/г; k – коэффициент адсорбции Ленгмюра, связанный с энергией связи сорбционной системы.

Модель Ленгмюра базируется на гипотезе, что энергия адсорбции одинакова для всех поверхностей и не зависит от степени охвата. В действительности энергия адсорбции может меняться, поскольку реальные поверхности неоднородны.

Уравнение модели Фрейндлиха в общем виде:

$$q_e = k_f \cdot c_e^{1/n}, \quad (2)$$

где k – коэффициент адсорбции Фрейндлиха, зависящий от адсорбционной емкости; n – показатель Фрейндлиха, связанный с интенсивностью адсорбции и поверхностной неоднородностью.

Количество солей, сорбируемых в единицу времени q_t , мг/г, определяли по экспериментальным замерам по формуле:

$$q_t = (c_0 - c_t) / Vm, \quad (3)$$

где C_0 – концентрация солей в начале эксперимента (мг/л); C_t – концентрация солей во времени t , мг/л; V – объем раствора, л; m – масса адсорбента, г.

Эффективность удаления солей, η , %, рассчитывали по уравнению:

$$\eta = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} \times 100\% \quad (4)$$

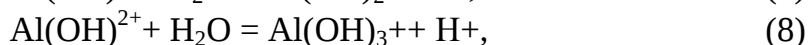
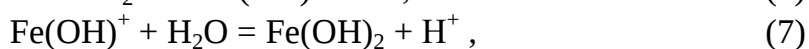
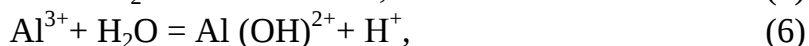
Экспериментально на основании изотерм установлены значения удельной сорбции солевого состава на загрузке из шоколадной глины, которые составили для фракций: 1 – 5 мм - 1,07 г/г, 5–10 мм - 0,63 г/г. Исходя из формы изотерм, адсорбция на шоколадных глинах соответствует модели по Фрейндлиху.

(В главах 3 и 4 диссертации приведены результаты экспериментальных исследований снижения солесодержания в лабораторных и опытно-промышленных условиях и интерпретация механизма процесса по полученным изотермам адсорбции Ленгмюра и Фрейндлиха.)

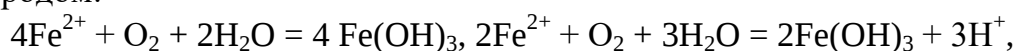
Для вод мойки шерсти овцеводческих фермерских хозяйств и нормативной очистке вод от загрязнений по условиям экологичности и экономичности при минимальных потребностях в производственных площадях соответствуют технологии, которые включают в себя установки стационарного (на базе биологической очистки) и мобильного (на базе электрохимических методов) базирования.

В комплексе электрохимических методов очистки сточных вод наибольшее распространение получили электро- и гальванокоагуляция, которые могут быть применены для удаления из сточных вод различных примесей, в том числе и из вод мойки шерсти.

При анодном растворении металлов (анод: железо или алюминий) под действием тока и на анодных участках гальванопар протекают следующие реакции:

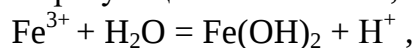


Ионы Fe^{2+} и гидроксид железа (II) окисляются растворенным в воде кислородом:





Образующиеся ионы Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ также подвергаются гидролизу:



Таким образом, в технологии электрокоагуляционной очистки вод взаимодействуют реакции окисления, восстановления, коагуляции, сорбции, совокупность которых обеспечивает управляемый режим очистки вод мойки шерсти и компактные условия для обеспечения повторного использования очищенных вод при создании мобильной водоочистной установки. Однако параметры рабочего режима должны быть определены экспериментально для каждого конкретного случая мойки шерсти.

В главе 3 «Экспериментальное обоснование технологий и установок очистки вод для фермерских хозяйств» рассмотрены особенности состава и обработки подземных и сточных вод, приведены методики их исследований, на базе чего предложены технические решения по технологии очистки вод для водопоя овец и мойки шерсти в фермерских овцеводческих хозяйствах.

Исследования по снижению солесодержания подземных и поверхностных вод проводились в лабораторных и опытно – промышленных условиях, в статическом и проточных режимах с использованием шоколадных глин местных месторождений (табл. 1): Приергенинский район северной части Калмыкии и соседней Волгоградской области (Эльтонское месторождение).

Таблица 1 - Химический состав шоколадной глины, месторождения, %

Наименование	Эльтонское	Приергенинское
1	2	3
SiO_2	62,75	68,3
CaO	1,95	2,33
MgO	1,82	1,99
Fe_2O_3	8,5	11,1
Al_2O_3	19,31	17,2
TiO_2	0,69	0,78
SO_3	<0,1	<0,1
K_2O	1,88	1,96
Na_2O	3,14	1,10
MnO	0,069	0,097
FeO	<0,31	<0,22
P_2O_5	0,1	0,1
Влажность	8,31	9,15

Методика проведения лабораторных исследований для определения кинетических параметров процесса адсорбции на шоколадных глинах: образцы глин Приергенинского месторождения измельчали, рассевали (на фракции 0.1 – 1,2 мм, 1,2 – 3,0 мм), фиксированные навески (1 г фракции 0.1 – 1,2 мм) помещали в стаканы № 1 - № 7, куда вливали: № 1 - 100 мл дистиллята; № 2- 100 мл водопроводной

воды, № 3 - 100 мл подземной воды из скважины водопоя овец, № 4- 10 мл 0,1 H_3PO_4 для активации и 90 мл дистиллята, № 5- 10 мл 0,1 N HCl для активации и 90 мл дистиллята, № 6- 10 мл 0,1 H_2SO_4 для активации и 90 мл дистиллята, (№ 7) -10 мл 0,1 H_3PO_4 и 90 мл подземной воды из скважины водопоя овец.

Полученные растворы механически перемешивали каждые 5 мин., контроль солесодержания проводили по электропроводности раствора (mS) через 30 минут (табл. 2). Исходное солесодержание вод, мг/дм³: дистиллированной - 5; водопроводной - 1680; из подземной скважины - 17800.

Из анализа данных таблицы 2 следует, что в пробах с добавлением кислот солесодержание в несколько раз больше, чем в других, т. е. произошло модифицирование пор шоколадной глины. Эти изменения выражаются в значительном разрушении октаэдрических слоев, в результате растворения активирующими кислотами оксидов алюминия, магния и железа, входящих в состав шоколадной глины.

Полученные данные указывают на принципиальную возможность использования местных шоколадных глин (респ. Калмыкия) для обработки вод с высоким солесодержанием как в стационарных условиях очистных сооружений, так и в полевых условиях выпаса животных, что определяет необходимость проведения исследований в динамическом режиме.

Таблица 2 - Показатели взаимодействия вод и кислот с шоколадной глиной (ШГ)

№ пробы	Состав смеси	Солесодержание, М, mS	Солесодержание, М, мг/дм ³	Примечание
1	Дистил. вода +ШГ*	459	298,4	без активации
2	Водопровод. вода + ШГ	696	452,4	без активации
3	Вода из скважины +ШГ	2712	1762	без активации
4	H_3PO_4 +дистил. вода +ШГ*	9021	586	активации
5	HCl + дистил. вода +ШГ*	9831	638	активация
6	H_2SO_4 + дистил. вода + ШГ*	9851	640	активация
7	H_3PO_4 +ШГ*+ вода из скважины	7771	905	активация

Вторая серия исследований проведена в динамическом режиме на установке (рис. 2), в состав которой входили фильтры с загрузкой: зеленым песком (Greend Sand), активированным углем, узлами обратного осмоса и мембранного фильтра. Была добавлена еще одна ступень обработки воды из скважины - фильтр с загрузкой

из шоколадной глины (фракция 1.2 – 3.0 мм, высота загрузки – 50 см.), прошедшей высокотемпературную термическую обработку.



Рисунок 2 - Опытно-производственная установка очистки подземных вод в динамическом режиме.

Воду на установку подавали из скважины водопоя овец, среднее солесодержание которой составляет 1762 мг/дм^3 (электропроводность – 2712 мС). Время пребывания воды в установке составляло 15 - 20 минут, средняя скорость фильтрования - $1,74 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{ час}$.

В процессе очистки каждый час отбирали пробы и по электропроводности определяли солесодержание очищенных вод на каждом фильтре (рис.3). Химический контроль проводили в среднесуточной пробе по pH, щелочности (Щ), жесткости (Ж), ионам железа (Fe), хлоридам (Cl^-), нитритам и нитратам (рис. 4).



Рисунок 3 - Солесодержание очищенной подземной воды в зависимости от режима обработки на установке: 1-мембрана; 2-осмос; 3-резервуар с добавлением NaCl; 4-зеленый песок Greend Sand; 5-зеленый песок Greend Sand и активированный уголь АУ; 6-активированный уголь; 7-загрузка из термообработанной глины.

Можно видеть (рис. 3), что по электропроводности солесодержание очищенных вод с исходных 2712 мС уменьшается практически до уровня дистиллированной воды ($350 - 400 \text{ мС}$). Показатели состава очищенных подземных вод на установке (рис. 3, 4) с различными фильтрующими перегородками достаточно близки по значениям и соответствуют нормам для водопоя овец. Из этого следует, что, обработав в режиме фильтрования часть воды из скважины на установке с сорбентом из шоколадной глины, ее следует смешивать с некоторым объемом исходной подземной воды из скважины таким образом, чтобы смесь соответствовала нормам для водопоя овец.

Установлено, что применение мелких фракций шоколадной глины повышает степень опреснения: фильтрование через слой сорбента с размером частиц 1 - 5 мм обеспечивает снижение солесодержания модельной воды до 1,1 – 1,4 г/л, а фракции с размером частиц 5 - 10 мм в интервале 3,0 - 3,6 г/л, при равных удельных расходах воды до $7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

Степень очистки при этом составила, (при высоте слоя 120 мм), соответственно, для фракций 1 – 5 мм - 97,2%, 5 – 10 мм - 92,8%. Результаты изучения влияния температуры модельной воды при удельном расходе $5,0 \text{ м}^3/\text{м}^2$ на процесс сорбционного опреснения, показали, что при уменьшении температуры с 60 до 20°C увеличивается фильтроцикл в 1.5 – 2, 5 раз и эффективность выделения солей на 6 – 15%.



Рисунок 4 - Показатели очищенных подземных вод на установке с различными фильтрующими перегородками

Для определения удельной сорбции (г шоколадной глины / г выделенных солей) была проведена дополнительная серия опытов на модельном растворе, который получали растворением навески поваренной соли в дистилляте с пропусканием через сорбционную колонку с высотой 120 мм сорбента из глин фиксированного объема воды фракции 1 – 5 мм и 5 – 10 мм. В процессе контролировали объем профильтрованной воды до достижения остаточного солесодержания 0,6 г/л, который составил 6.6 л для глин фракцией 1 – 5 мм. и 3.9 л - для 5–10 мм.

Далее сорбент высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу, определяя привес загрузки как адсорбированные соли, после чего рассчитывали удельную сорбцию, которая составила: для фракции 1 – 5 мм - 1,07 г/г, для фракции 5–10 мм - 0,63 г/г.

Остаточное солесодержание очищенных вод сорбцией на шоколадной глине, $\text{мг}/\text{дм}^3$, (рис. 5) может быть определено по статистически значимым выражениям для фракций, мм:

фракция 1- 5: $C_{\text{ост}} = 0,0308 q + 1,1245$; ($R^2 = 0,9591$);

фракция 5 – 10: $C_{\text{ост}} = 0,0601 q + 3,0249$, ($R^2 = 0,9357$),

где q – расход очищаемой воды, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$.

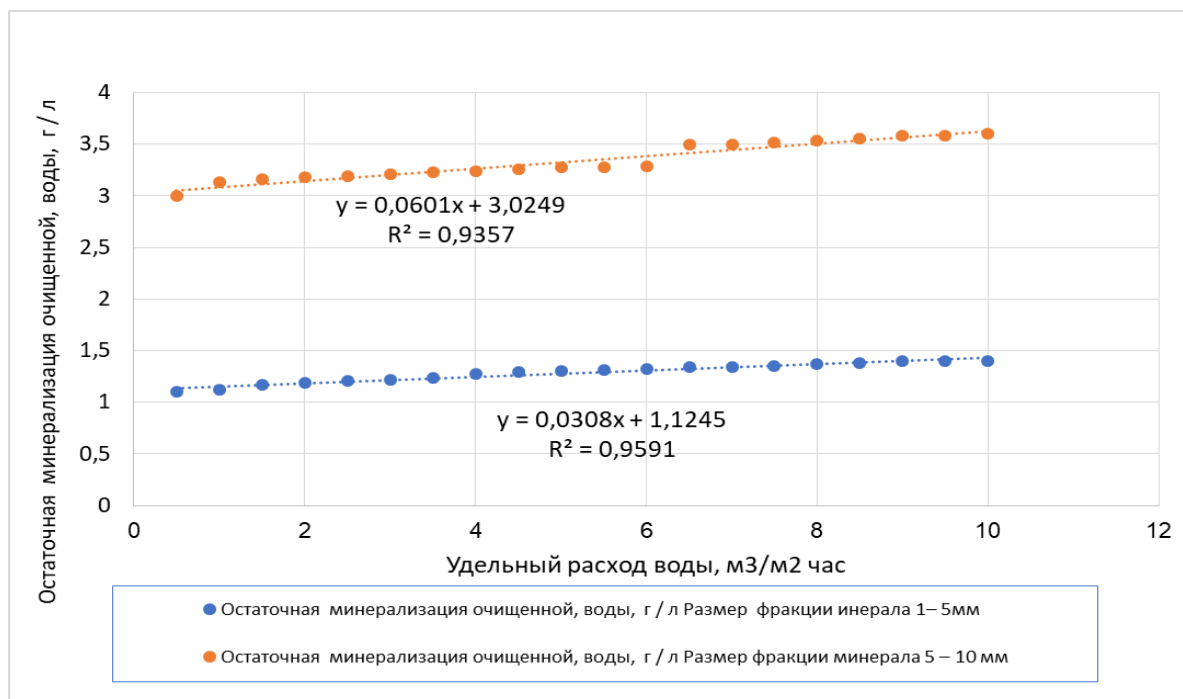


Рисунок 5 – Зависимость показателей сорбции от расхода воды

Полученные значения удельной сорбции рекомендуются к применению в расчетах потребности шоколадных глин к водопоя овец из поверхностных водоемов с повышенным солесодержанием по формулам (3, 4).

Если сравнивать организационно – технологические мероприятия по созданию узла очистки подземных вод для фермерского хозяйства на основе сорбционных материалов (рис. 4), то только зеленый песок (GS) и шоколадные глины являются природными материалами, не требующими специальных подготовительных операций или специального оборудования (что надо для АУ, осмоса, мембран).

Применительно к Калмыкии зеленый песок (GS) требуется поставлять извне, что увеличивает затраты на логистику, поэтому каштановые глины однозначно являются наиболее приоритетным материалом для очистки подземных вод для водопоя овец фермерских хозяйств.

Процесс очистки может быть организован в статических условиях (в емкость с глиной закачивается необходимое количество подземной воды, перемешивается, в т. ч. и вручную, отстаивается в течение 1 часа и сливается в водопойные корыта).

Процесс очистки также может быть организован в динамических условиях: фильтрованием через дробленую глину (фракция 1- 10 мм) со временем пребывания не менее 30 минут, с отведением очищенной воды непосредственно на водопой.

Данный метод очистки вод не требует сложного оборудования, технологии и может быть достаточно просто реализован в условиях фермерских хозяйств.

Очищенная с помощью шоколадных глин вода может быть использована для мойки шерсти. Технологические схемы реализованы в основном на станциях стационарного базирования для региональных и/или федеральных пользователей, являются многоступенчатыми и многозвенными, что приемлемо для региональных территорий, но для фермерских овцеводческих хозяйств является избыточным и громоздким.

Поэтому в рамках расширения импортозамещения для овцеводческих фермерских хозяйств нами предлагается создание мобильных установок мойки шерсти на базе автотранспорта, оборудованного установками мойки шерсти и очистки сточных вод. Станции мобильного базирования будут включать блок мойки и сушки шерсти, усреднитель, электролизер, тонкослойный отстойник, блок доочистки и обработки осадка. При этом каждая мобильная установка может обслуживать ряд соседних фермерских овцеводческих хозяйств.

Для устройств мобильного базирования мойки шерсти технологические схемы должны быть ориентированы на минимизацию габаритных размеров установок, энергетических и эксплуатационных затрат, что требует соответствующего экспериментального обоснования и лабораторной проверки показателей эффективности их применения (рис. 6 А, Б).

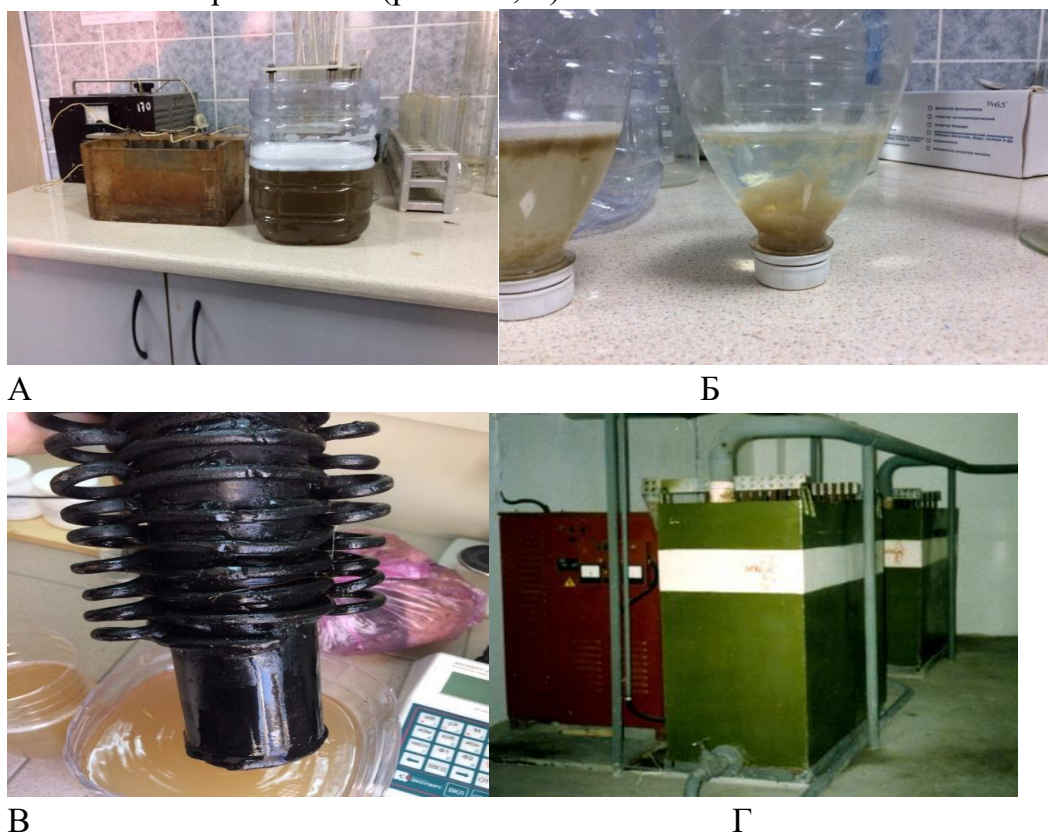


Рисунок 6 Экспериментальные установки очистки сточных вод мойки шерсти: А – лабораторный электрокоагулятор; Б – обработанная сточная вода после отстаивания; В – криоскопическая вставка; Г – производственная установка электрокоагулятора.

Условиям мобильности ввиду минимальных потребностей в производственных площадях и объемах для мойки шерсти овцеводческих хозяйств и нормативной очистке вод от загрязнений соответствует метод электрокоагуляции с растворимыми анодами из железа. В процессе анодного окисления железа вследствие реакций (5-10) возможно образование целого ряда гидратированных и комплексных ионов: Fe^{2+} , Fe^{3+} , FeOH^+ , Fe(OH)_2 , FeOH^{2+} , Fe(OH)_3 , Fe(OH)^{2+} , термодинамическая устойчивость которых зависит от pH среды, температуры и окислительно-восстановительного

потенциала, значения которых определяются экспериментально применительно к составу производственных сточных вод.

Для проведения исследований готовили модельную сточную воду, следуя рекомендациям по технологии мойки овечьей шерсти: по 30 г бараньей шерсти, после стрижки овец, помещали в две емкости объемом 4 л подогретой водопроводной воды температурой 45°C и производили мойку шерсти с перемешиванием в течении 5 минут в двух вариантах: с использованием (1) и без использования (2) моющих средств (ПАВ).

1 – очистка вод отстаиванием. После мойки шерсти воду отстаивали в течении 30 минут, после чего определяли прозрачность "по кольцу", см, а также измеряли высоту слоя осадка, мм. При отстаивании при фактической температуре моющей воды (40 - 45 ° С) отмечено выделение только оседающих взвешенных веществ, а выделения плавающих (в виде жиров) не отмечено. Получены средние (из 3-х повторностей) результаты: 1) без моющих средств: высота осадка 4 мм, прозрачность 4,5 см; 2) с моющими средствами: высота осадка 3 мм, прозрачность 0,5 см, что объясняется переходом в раствор большего количества загрязнений. Шерсть после отмытки с ПАВ имеет визуально более качественные показатели и может быть отправлена потребителю. Поэтому в дальнейших исследованиях применяли только воду после мытья шерсти с ПАВ.

2 - влияние температуры на выделение жиров из воды после мойки шерсти охлаждением изучали в экспериментальной криоскопической установке (рис. 6 В), установлено, что при уменьшении температуры воды после мойки шерсти ниже 26 °С градусов жиры из растворенного состояния переходят в плавающие.

3 - влияние параметров процесса электрокоагуляции на эффективность очистки воды после мойки шерсти изучали на производственной установке (рис. 6 Г).

Исходные показатели модельных сточных вод отмытки шерсти с применением СПАВ: прозрачность 0,5 см, температура 47 °С. Electroды стальные, расстояние между электродами 4 мм, напряжение постоянного тока на электродах 15 - 25 В, сила тока 9А, плотность 107 А / м², что соответствует рекомендациям литературных источников.

После электрокоагуляции и отстаивания (табл. 3) наибольшая прозрачность очищенной воды (12 см) достигается через 7,5 минут электрообработки и 15 минут отстаивания. При этом по температуре вода пригодна для повторного использования при мойке шерсти.

Таблица 3 - Параметры режима очистки вод мойки шерсти электрокоагуляцией

Время электрокоагуляции, мин.	Температура воды, °С	Напряжение, В	Прозрачность, см
2	32	15	1,1
5	34	15	2,3
7,5	36	20	12,0
10	38	25	4.5

4 - доочистка вод сорбцией. Для увеличения степени очистки вод после электрокоагуляции и отстаивания изучена сорбционная доочистка вод на модели фильтра с загрузкой "СВЕРАД", которая является одной из наиболее дешевых на рынке сорбентов.

Очищенную электрокоагуляцией и отстаиванием воду мойки шерсти обрабатывали сорбцией в нисходящем режиме на фильтре с загрузкой «СВЕРАД». Скорость фильтрования: $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, температура 25°C , прозрачность 21,5 см.

При этом выявлена технологическая неэффективность применения загрузки "СВЕРАД" для сорбции без предварительной очистки вод: процесс прекращался через 10 -12 минут.

Очищенные электрокоагуляцией и сорбцией через загрузку «СВЕРАД» сточные воды использовались повторно для мойки шерсти: в очищенную жидкость добавляли 1/3 объема воды после мойки шерсти и вносили грязную шерсть в расчете 50 г на 1 л воды после стрижки овец. Время мойки шерсти с перемешиванием составляло 15 – 20 минут.

Качество отмытой шерсти при этом не изменилось. К тому же потребовалось меньшее количество горячей водопроводной воды, чтобы довести температуру до 45°C , что требует технология мойки шерсти с ПАВ.

В 4-й главе «Расчет мобильной установки очистки сточных вод мойки шерсти» на базе полученных технологических параметров очистки вод мойки шерсти предложены: методика расчета, технология и мобильная установка для мойки шерсти фермерских овцеводческих хозяйств, что составило предмет изобретения (патент РФ №2 2675556).

В качестве примера для расчета мобильных очистных сооружений сточных вод мойки шерсти (рис. 7) принята овцеводческая ферма на 800 голов, расположенная в Черноземельском районе респ. Калмыкия, СПК «Первомайский». Расчетный расход $q_{\text{max, час}} = 8,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача сточных вод осуществляется по самотечному трубопроводу от стационарного модуля мойки и отжима шерсти, не входящие в оборудование модульной установки.

Установлено, что стоимость строительства мобильных очистных сооружений дешевле строительства стационарных в 2.5 раза, но выше (5,5%) затраты на эксплуатацию. Можно сделать вывод, что разработанная технология очистки сточных вод первичной обработки шерсти с помощью мобильной установки даст толчок к развитию фермерского овцеводства.

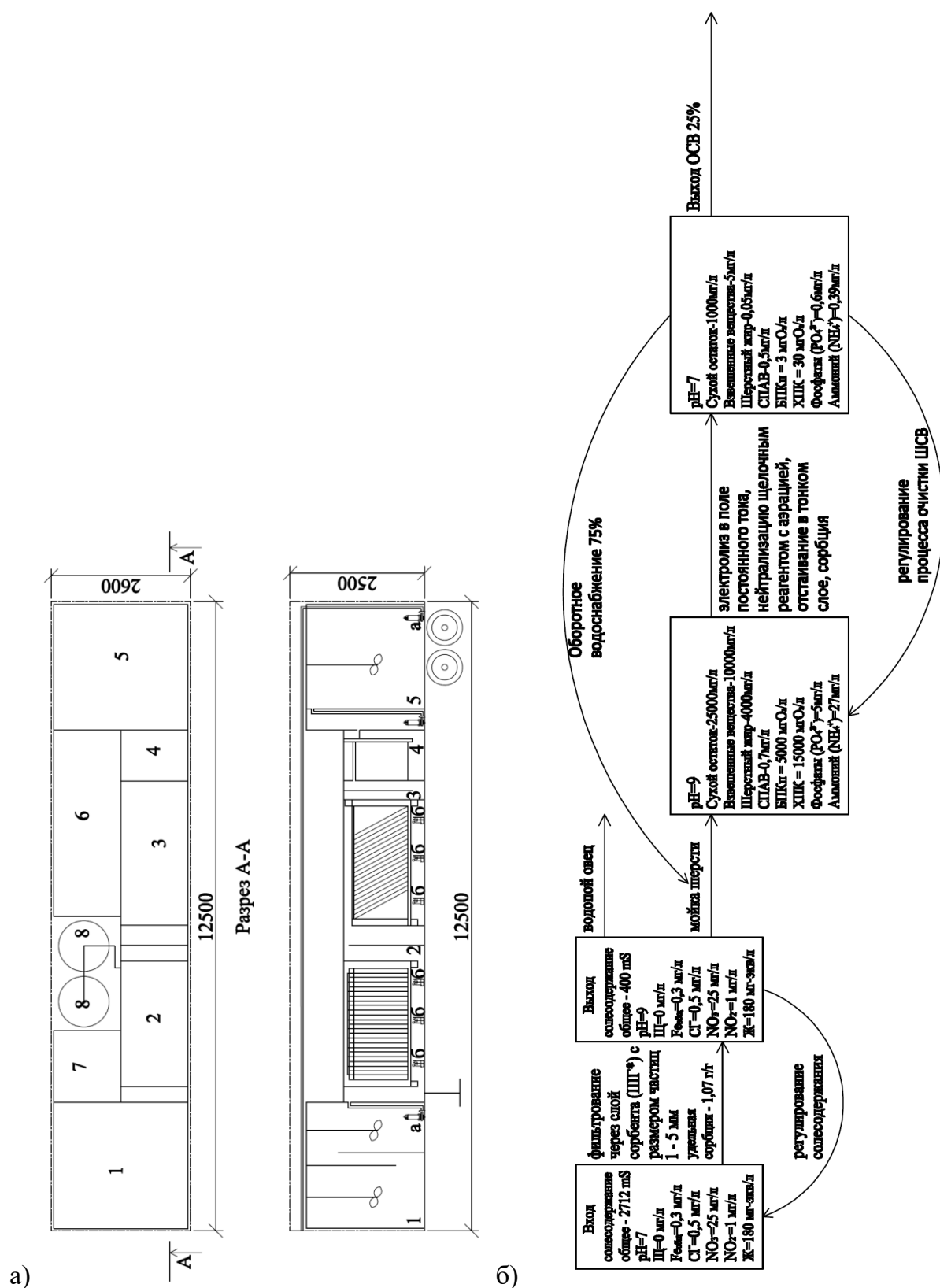


Рисунок 7: а - Схема мобильной установки очистки сточных вод мойки шерсти: 1-усреднитель (2,5х2,4х2,2м), 2-электрокоагулятор (3х1,5х1,1м), 3-тонкослойный отстойник (3х1,5х1,1м), 4-сорбционный фильтр (1,5х1,5х1,1м), 5-накопительная емкость (2,5х2,4х2,2м), 6-выпрямитель (1,8х1,4х1м), 7-реагентное хозяйство (2,5х1,4х1м); а,б - насосы; б – кибернетическая модель очистки воды для водопоя овец и очистки ШСВ

В главе 5 «Эколого-экономическое обоснование повышения эффективности фермерских хозяйств» выполнено сравнение технико-экономических показателей строительства и эксплуатации мобильных и стационарных установок мойки шерсти овец для фермерских хозяйств.

1. Оценка хозяйственной деятельности фермерского хозяйства по водообеспечению: поению овец, очистке подземных вод и мойке шерсти.

1.1 Определим необходимое количество воды на ферме для водопоя и хозяйственных нужд. Согласно «ВНТП-Н-97. Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения» нормы расходования воды питьевого качества равны, л/сут. голову: овцы – 5, бараны – 7, ягнята – 3,5.

Тогда суточная потребность в воде для водопоя составит $(700 \times 5 + 250 \times 3,5 + 50 \times 7)/1000 = 4.725 \text{ м}^3/\text{сут}$, потребность воды в год: $(4.725 \times 365)1725 \text{ м}^3/\text{год}$.

1.2. Потребность в воде для мойки шерсти. В течение года стрижка овец производится 3 раза. От одной овцы настриг шерсти составляет 1,5 – 2 кг, от одного барана 2 - 4 кг. Расход воды на мойку шерсти – 50 л/кг.

Для рассматриваемого хозяйства в год образуется шерсти $(700 \times 2 + 50 \times 3) = 1550$ кг. Необходимое количество воды для мойки шерсти составит: $(50 \times 1550) = 77\,500$ л ($77,5 \text{ м}^3/\text{год}$.) На 1 стрижку – $77.5/3 = 25.9 \text{ м}^3$.

1.3. Потребность в воде для деминерализации подземных вод заключается в приготовлении растворов реагентов, финишной промывки фильтров, загруженных шоколадной глиной фракциями 1 - 5 мм. (Согласно экспериментальным данным до 10% от объема обработанной воды используется для собственных нужд очистной установки, в нашем случае – от объема водопоя овец, т.е. 180 м^3 .) Тогда годовое потребление воды на ферме составит $(1725 + 77.5 + 180) 1983 \text{ м}^3$.

Примем, что доставка воды ведется водовозом с емкостью цистерны 7.5 м^3 , стоимость воды и доставки - $100 \text{ руб}/\text{м}^3$.

Годовые затраты на воду для водопоя овец составят $(1983 \times 100) = 198\,300$ руб.

2. Оценка хозяйственной деятельности фермерского хозяйства по мойке шерсти в стационарных и передвижных установках.

Стоимость стационарной установки, изготовления и монтажа составляет 6 665 000 рублей, годовые эксплуатационные затраты 1 986 731 рублей в год (в ценах 2017 г.).

Стоимость мобильной установки составляет 2 657 690 рублей, годовые затраты на эксплуатацию 2 101 188 рублей в год.

При этом следует учесть прибыль от сдачи в производство мытой шерсти: стоимость исходной «грязной» шерсти 7 руб/кг, мытой – 60 руб/кг. В год на ферме образуется 1550 кг шерсти. Тогда после ее реализации фермерское хозяйство получит дополнительную прибыль $((60 - 7) \times 1550) = 82150$ рублей.

Это указывает на целесообразность создания коллективной мобильной установки для смежных фермерских хозяйств для очистки сточных вод и мойки шерсти, что в целом повысит экологичность и экономическую эффективность овцеводства.

Определим суммарный положительный экономический эффект от экологизации фермерских хозяйств как сумму доходов от водопоя и реализации мытой шерсти.

Дополнительный годовой доход фермерского хозяйства от установок и технологий экологизации составит: 1- получение воды из подземных вод 198 300 руб.; 2 - реализация мытой шерсти - 82150 руб. Всего - 280450 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обосновано, что приоритетным направлением повышения эффективности фермерских овцеводческих хозяйств в республике Калмыкия является создание водопойных узлов на базе местных подземных источников водоснабжения и глинистых месторождений, создания стационарных и мобильных установок по мойке шерсти с замкнутым циклом очистки вод.

2. Экспериментально установлена технологическая и эколого-экономическая целесообразность использования местных шоколадных глин (респ. Калмыкия) для обработки вод с высоким содержанием солей для водопоя овец как в стационарных условиях очистных сооружений, так и в полевых условиях выпаса овец в фермерских хозяйствах.

3. Показано, что очистка сточных вод мойки шерсти последовательной обработкой электролизом, тонкослойным отстаиванием и сорбцией позволяет использовать их в оборотном цикле, на базе чего разработана мобильная установка очистки с повторным использованием очищенной воды, на которую получен патент РФ №2 2675556.

4. Суммарный доход от практики повышения эффективности фермерского хозяйства на 800 голов составляет 280450 рублей в год.

Рекомендации производству

Результаты работы рекомендуются к применению в овцеводческих хозяйствах на стадиях проектирования, эксплуатации и менеджмента не только в республике Калмыкия, но и в других аридных регионах.

Перспективы дальнейшей разработки темы

На базе полученных результатов и знаний в области повышения эффективности овцеводческих фермерских хозяйств перспективным является создание мобильных установок получения воды для водопоя овец непосредственно на месте их обитания, мойки шерсти и очистки оборотных вод от мойки. Отработанные материалы после очистки вод рекомендуется использовать в качестве удобрений на полях, в качестве сорбента для очистки вод мойки шерсти.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. Арашаев, А.В. Исследование особенностей протекания сорбционных процессов в обработке воды с высоким содержанием солей [Текст] / А.В. Арашаев., В. Ю. Борисова, В. А. Онкаев, Н.С. Серпокрылов, А. Халил //Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65) – С. 95 -101.

2. Арашаев А.В. Особенность специфики палеоэкологических факторов для территории Калмыкии [Текст] /. Бадмаева Н.В., Сангаджиев М.М., Онкаев В.А., Арашаев А.В., Бембиева Л.М. // Научно-аналитический журнал «Инновации и инвестиции», №10, Москва: Изд-во ООО «Русайнс», 2019. – Стр. 217-222. (Статья ВАК)

3. Арашаев А. В. Ионно-солевой комплекс глинистых грунтов и его изменение при выщелачивании солей [Текст] / А. А. Дорджиев, А. Г. Дорджиев, М. М. Сангаджиев, А. В. Арашаев, О. В. Эрдниев, А. М. Киселева // Научно-аналитический журнал «Инновации и инвестиции», №3. Москва: Изд-во ООО «Русайнс», 2018. – С.208-212.

Публикация в изданиях из международной глобальной базы Scopus

4. Арашаев А. В. Фактор качества воды водных объектов Калмыкии и здоровье населения республики [Текст] / М. М. Сангаджиев, О. В. Эрдниев, А. Н. Бадрудинова, А. В. Арашаев // Geologiya, Geografiya i Globalnaya Energiya (Geology, Geography and Global Energy) Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Landscape Geochemistry 70 – 2016 – № 2 (61) – С.70 – 75.

Статьи в материалах конференций и других изданиях

5. Арашаев А.В. Экологические проблемы при строительстве очистных сооружений Элистинской фабрики первичной обработки шерсти [Текст] / Арашаев А.В., Серпокрылов Н.С., Онкаев В.А., Онкаев А.В. // В сборнике: Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018». Сочи, 11-14. 12. 2018 г. Материалы XI Международной научно-практической конференции.- Новочеркасск: Изд-во «Лик», 2018. – 246-251 с.

6. Арашаев А.В. Экологизация овцеводческих ферм аридных территорий (на примере Республики Калмыкия) [Текст] / Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Онкаев В.А., Арашаев А.В. // В сборнике: Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019». Москва, 22-23. 10. 2019 г. Материалы XII Международной научно-практической конференции: Изд-во «Лик», 2019.

Патент

7. Крашенников Е.В., Серпокрылов Н.С., Корниенко В.В., Арашаев А.В. Способ очистки сточных вод фабрик первичной обработки шерсти/ Патент RU (11) 2 2675556. Дата подачи заявки: 11.10.2017; Опубликовано: 19.12.2018, Бюл. № 35.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1485 подписано в печать 27.07.2021 г.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А.
Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1