

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)



На правах рукописи

КРАСОВСКАЯ НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД
С ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Специальность 4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д-р техн. наук, доцент
Т. И. Дрововозова

Новочеркасск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	с.
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ ДРЕНАЖНЫХ ВОД	10
1.1 Современное состояние водоотведения с оросительных систем Ростовской области, химизм возвратных вод.....	10
1.2 Оценка технологий и технических решений очистки дренажных вод.....	15
1.3 Рабочая гипотеза и блок-схема проведения исследования в части очистки дренажного стока.....	25
Выводы по главе 1.....	27
ГЛАВА 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ И ДРЕНАЖНЫХ ВОД В ОТКРЫТЫХ КОЛЛЕКТОРАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К НИМ ПОЧВ НИЖНЕ- ДОНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	28
2.1 Общие характеристики коллекторно-дренажной сети Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».....	28
2.2 Анализ динамики качества дренажных вод в открытых коллекторах.....	31
2.3 Гидрохимическое состояние фоновых створов приемников коллекторно-дренажных вод.....	45
2.4 Физико-химические свойства почвогрунта орошаемых участков, подвешенных к коллекторам.....	48
Выводы по главе 2.....	52
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДРЕНАЖНЫХ ВОД С ОРОШАЕМЫХ УЧАСТКОВ	53

3.1 Экологическая оценка качества дренажных вод.....	53
3.2 Мелиоративная оценка качества дренажных вод.....	56
3.3 Способ эколого-гидрохимической комплексной оценки качества дренажных вод с орошаемых участков.....	60
Выводы по главе 3.....	68
ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИКО-НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДХОДА ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧИСТНОГО СООРУЖЕНИЯ.....	
4.1 Обоснование размещения локальных очистных сооружений.....	70
4.2 Обобщение анализа результатов патентного поиска и конструктивные предложения.....	73
4.3 Определение объемов дренажного стока на территории Нижне-Донской ОС.....	76
4.4 Описание технологической схемы локального сооружения для очистки дренажного стока.....	82
4.5 Результаты исследования очистки воды из открытого коллектора и дренажного колодца методом ионного обмена.....	86
4.6 Расчет материального баланса ионитовых фильтров при очистке воды из открытого коллектора и дренажного колодца	90
4.7 Описание и расчет параметров сооружения для очистки дренажного стока.....	92
Выводы по главе 4.....	95
ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА.....	
5.1 Описание разработанного технического подхода к очистке дренажного стока.....	97
5.2 Технико-экономическое обоснование сооружения для локальной очистки дренажного стока.....	99

5.3 Оценка величины предотвращенных платежей за негативное воздействие на водные объекты на примере очистки воды из дренажного колодца.....	102
5.4 Оценка величины предотвращенного ущерба водным объектам....	106
5.5 Определение экологической эффективности.....	109
Выводы по главе 5.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	115
ПРИЛОЖЕНИЯ	134
Приложение А Схема объектов водопользования Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».....	134
Приложение Б Химические и физико-химические показатели воды в открытых коллекторах на территории Нижне-Донской оросительной системы.....	135
Приложение В Содержание основных солеобразующих ионов в воде открытых коллекторов на территории Нижне-Донской оросительной системы.....	138
Приложение Г Содержание ионов токсичных и нетоксичных солей на исследуемых орошаемых участках, прилегающих к коллекторам.....	144
Приложение Д Среднемноголетние климатические характеристики за период 1966-2018 годы в Семикаракорском районе.....	146
Приложение Е Акты внедрения.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Указом Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, в которой одним из основных направлений является сохранение надлежащего качества водной среды в природных водных объектах. Основным потребителем водных ресурсов является сельское хозяйство. Так, в Российской Федерации на орошение используется 11,67 % от всего объема пресной воды из водных объектов. При этом образуется значительный объем коллекторно-дренажных вод с орошаемых земель, который составляет примерно 45 % от общей водоподачи. По данным Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за последние пять лет в АПК доля сброшенных без очистки сточных, в том числе дренажных вод (ДВ), составила в среднем 17,8 %, очищенных до нормативного уровня – всего 5,3 % [1–4].

На фоне нарастающего водного дефицита использование ДВ становится одним из главных резервов восполнения водных ресурсов. Вследствие чего вопросы, связанные с прогнозом объема и их загрязнения, с разработкой технических решений водоочистки, становятся особенно значимыми. В настоящее время практически на всех коллекторно-дренажных сетях отсутствуют какие-либо очистные сооружения. Как результат, неконтролируемые процессы миграции пестицидов, биогенных, органических и минеральных веществ приводят к нарушению экологического законодательства в части превышения нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) для водных объектов, утвержденных приказом Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 [5]. На решение вышеуказанных проблем направлены исследования, представленные в данной диссертационной работе.

Степень разработанности темы. Изучению вопросов качества ДВ, методов их очистки посвящены работы И.П. Айдарова, С.Я. Бездниной, С.М. Васильева, В.А. Волосухина, Л.В. Кирейчевой, В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко,

С.Я. Семененко, Е.Б. Стрельбицкой, В.А. Супрун, Б.А. Шумакова, Б.Б. Шумакова, В.Н. Щедрина, E.V. Mass, J.T.A. Verhoeven, и др. Вместе с тем, имеется отставание практического внедрения разработок технических решений водоочистки, не учитываются технико-экономические возможности субъектов РФ и региональные особенности качественного состава ДВ. Решение вопросов обеспечения экологической безопасности и предотвращения загрязнения естественных водотоков ДВ с орошаемых земель, разработка современных технических решений, обеспечивающих качественный состав дренажного стока, весьма актуальны. Наиболее распространенным способом очистки ДВ являются фитотехнологии, эффективные в очистке от остаточных количеств удобрений и пестицидов, но не решающих проблему высокой минерализации. Кроме того, сооружения биологической очистки требуют больших площадей, которые не всегда есть в наличии. Возникает необходимость разработки энергонезависимых малогабаритных локальных очистных сооружений, обеспечивающих эффективную очистку минерализованных ДВ.

Цель исследования – совершенствование технологии очистки минерализованных вод дренажного стока с орошаемых земель, поступающего в коллекторно-дренажную сеть.

Задачи исследования:

1. Провести информационно-аналитический обзор современных технологий и технических решений по улучшению качества дренажного стока и подходов к совершенствованию систем очистки вод, поступающих с орошаемых земель в русла естественных водотоков.

2. Провести анализ фонового состояния вод русел-водоприёмников, экологическую и мелиоративную оценку коллекторно-дренажных вод в открытых коллекторах для обеспечения возможности безопасного отведения дренажных вод в природные водные объекты.

3. Научно обосновать и разработать новый способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель и их критериев классификации, позволяющий установить вклад природной и антропогенной составляющей в их составе.

4. Разработать конструкцию энергонезависимых, малогабаритных локальных очистных сооружений для очистки дренажного стока, обеспечивающих усовершенствование технологии ионообменной очистки дренажных вод, технологических схем в зависимости от исходной минерализации вод, дать оценку инвестиционной и экологической эффективности.

Объект исследования – коллекторно-дренажная сеть Нижне-Донской ОС ФГБНУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». **Предмет исследования** – технологии очистки минерализованного дренажного стока с орошаемых земель.

Научная новизна:

– установлены закономерности динамики минерализации и ионно-солевого состава коллекторно-дренажных вод за вегетационный период в открытых коллекторах в земляном русле;

– научно обоснован и разработан новый способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, позволяющий установить вклад природной и антропогенной составляющей в их составе, установлены критерии оценки их качества;

– усовершенствована технология ионообменной очистки дренажных вод в зависимости от их исходного качества с установлением взаимосвязи объема очищаемого дренажного стока с концентрацией адсорбируемых ионов и объемом ионообменного материала, получены эмпирические зависимости объема загрузки ионитов от концентрации адсорбируемых ионов при разном расходе дренажного стока, описываемые уравнениями линейной зависимости с коэффициентами корреляции 0,98 – 0,99;

– разработана конструкция энергонезависимых, малогабаритных локальных очистных сооружений очистки дренажного стока с орошаемого участка, сопряженная с дренажным колодцем, обеспечивающая экологически безопасное отведение очищенных дренажных вод в естественные водотоки, выполнена оценка инвестиционной и экологической эффективности.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в анализе среднесуточных закономерностей динамики минерализации и ионно-

солевого состава фоновых створов русел-водоприемников и коллекторно-дренажных вод в течение вегетационного периода, в научном обосновании и разработке нового способа эколого-гидрохимической оценки качества ДВ с орошаемых земель, позволяющего установить вклад природной и антропогенной составляющей в их составе, а также критериев оценки их качества, в установлении взаимосвязи объема очищаемого дренажного стока с концентрацией адсорбируемых ионов и объемом ионообменного материала, получении эмпирических зависимостей объема загрузки ионитов от концентрации адсорбируемых ионов при разном расходе дренажного стока.

Практическая значимость работы заключается в усовершенствовании технологии ионообменной очистки дренажных вод с орошаемых земель, технологических схем в зависимости от исходной минерализации вод, разработке конструкции энергонезависимого, малогабаритного локального очистного сооружения (ЛОС), сопряженного с дренажным колодцем, обеспечивающего экологически безопасное отведение очищенных дренажных вод в естественные водоприемники.

Результаты научных исследований использованы при разработке ГОСТ Р «Мелиорация земель. Дренажные воды с орошаемых земель. Общие требования». Технические решения ЛОС включены в план реконструкции коллекторно-дренажной сети ФГБУ «Управление «Ростовмеливодхоз». Фактический сезонный эффект от внедрения ЛОС составит 117,12 тыс. руб. Результаты работы также внедрены в учебный процесс направлений подготовки 35.03.11, 35.04.11 «Гидро-мелиорация» НИМИ ФГБОУ ВО «Донской ГАУ».

Методология и методы диссертационного исследования. Исследования выполнены в сертифицированных и аккредитованных лабораториях на современном оборудовании по аттестованным методикам. Достоверность результатов обеспечена проведением аналитического контроля в аккредитованных лабораториях с применением стандартных методик и высоким уровнем корреляции лабораторных и полупроизводственных экспериментов. Статистическая обработка данных выполнена в компьютерной программе Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ среднемноголетних закономерностей динамики минерализации и ионно-солевого состава фоновых створов русел-водоприемников и коллекторно-дренажных вод в течение вегетационного периода на примере Нижне-Донской оросительной системы ФГБУ Управления «Ростовмелиоводхоз».

2. Новый способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, позволяющий установить вклад природной и антропогенной составляющей в их составе, критерии оценки качества дренажных вод с орошаемых земель.

3. Усовершенствованная технология ионообменной очистки дренажных вод с орошаемых земель с вариантами технологических схем в зависимости от их исходного качества, эмпирические зависимости объема загрузки ионитов от концентрации адсорбируемых ионов при разном расходе дренажного стока.

4. Конструкция энергонезависимого, малогабаритного локального очистного сооружения очистки дренажного стока с орошаемого участка, сопряженная с дренажным колодцем, обеспечивающая экологически безопасное отведение очищенных дренажных вод в естественные водотоки.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена выполненным анализом проблематики вопроса, полнотой исходной информации, применением стандартных методов статистической обработки данных, апробацией на международных и всероссийских научно-практических конференциях: Ростов-на-Дону, Волгоград, Пенза (2020 г.), Орел (2023 г.), Новочеркасск (2022 – 2024).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 13 научных работах, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 публикация в журнале, входящем в международную базу Scopus.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 148 страниц машинописного текста, включая 36 рисунков, 53 таблицы, список литературы из 146 наименований, в том числе 21 иностранный источник.

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ ДРЕНАЖНЫХ ВОД

1.1 Современное состояние водоотведения с оросительных систем Ростовской области, химизм возвратных вод

Эксплуатация коллекторно-дренажных сетей оказывает значительное воздействие на природные водные объекты, а гидрохимический состав коллекторно-дренажных вод (КДВ) неразрывно связан с гидрохимией подземных вод и водоприемников [4,6-9]. Несмотря на имеющуюся в России современную законодательную базу применительно к сбросам сточных (дренажных) вод в природные водные объекты, предусмотренную систему штрафных санкций за сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных (дренажных) вод, объем сброса практически не учитывается и не контролируется. Статистика по объемам сброса дренажных вод включалась в Государственные доклады «О состоянии окружающей среды РФ» лишь до 1999 г [10]. Согласно данным [10] объем дренажных вод в 1999 г. по отношению к 1992 г. сократился на 34 %, а водозабор на 20 %, что связано с уменьшением поливных площадей [11]. В настоящее время в Ростовской области отмечается рост сельскохозяйственного производства, что неизбежно приводит к увеличению объемов водозабора и сброса КДВ [4,12]. По данным информационного портала ФГБНУ ВНИИ «Радуга» во многих регионах не со всех оросительных систем осуществляется отвод дренажных вод. Связано это с разными причинами: неисправность мелиоративных систем, отказ СХТП от поливной воды, большой дефицит поливной воды, географические и климатические особенности регионов [13].

На территории Ростовской области строительство гидромелиоративных систем началось еще в середине 50–70 гг. прошлого столетия. По данным 2022 г. в ведении ФГБУ «Управления «Ростовмелиоводхоз» находится 29 оросительных МС, в которых водоотведение осуществлялось только с трёх ОС: Азовской, Багаевской и Садковской. Анализ данных показал, что в 2022 г. в Ростовской области фактически полито 20,82 % орошаемых земель, обслуживаемых МС [13,14]. Наибольшая площадь обслуживания оросительных каналов и коллекторов (43,5 тыс. га) закреплена за Семикаракорским филиалом ФГБУ «Управление «Ростомелиоводхоз» [15].

Данные по объему отведения коллекторно-дренажных вод (КДВ), поступающих с орошаемых земель Центрального орошаемого района, предоставленные федеральным государственным бюджетным учреждением (ФГБУ) «Управление «Ростовмелиоводхоз» за период 2016–2019 гг., представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Объем отведения коллекторно-дренажных вод, поступающих с оросительных систем Ростовской области, за период 2016–2019 гг.

Наименование оросительной системы	Год ввода в эксплуатацию	Объем отведения возвратных вод, тыс. м ³			
		2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6
1 Азовская	1952	955	955	1276	1276
2 Багаевская	1954	3539,4	3539,4	4575	4575
3 Садковская	1954	1334,5	1334,5	1331	1331
4 Верхне-Сальская	1977	1075	1350	1010	1010
5 Донская	1971	0	0	0	0
6 Манычская-1	1971	0	0	0	0
7 Манычская-2	1970	0	0	0	0
8 Нижне-Донская	1952–1976	5719	5719	5700	5700
9 Нижне-Манычская	1974	291	291	400	400
10 Константиновская	1984	0	0	2360	2369
11 Приморская	1990	795	835	790	790
12 Пролетарская	1977	30620	31930	32770	32770
13 Право-Егорлыкская	1958	425	415	485	485
14 Цимлянская	1993	55	40	35	35
15 Миусская	1977	55	65	165	165
16 Приазовская	1988	0	0	45	45
17 Чирская	1984	0	0	0	0
18 Большовская	1970	6125	6125	7300	7300
19 Троицкая-1	1978	1,5	1,5	1,5	1,5
20 Троицкая-2	1978	0	0	0	0
21 Мартыновская	1988	135	30	0	0
22 Краснополянская	1990	0	0	0	0

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
23 Зубовская	2002	0	0	0	0
24 Летниковская	2002	0	0	0	0
25 Темерницкая	1969	0	13	0	0
26 зерноградская	1987	0	нет данных	нет данных	нет данных
27 Нептун	1963	0	0	0	0
28 Вяжа	1991	0	0	0	0
29 Поднятая Целина	1983	18	13	0	0
30 Хорошевская	1962	0	0	0	0
31 Николаевская	1992	0	0	0	0

Примечание – курсивом указан суммарный объем отведения возвратных вод из расчета 5 % от годового забора воды.

По данным таблицы, очевидно, что наибольший объем отведения коллекторно-дренажных вод сосредоточен в границах орошаемых земель, примыкающих к Донскому магистральному каналу в Центральной орошаемой зоне и Азовского канала в Приазовской зоне.

В настоящее время существуют проблема, связанная с эффективностью и финансовой доступностью очистки коллекторно-дренажных вод, обусловленной многомиллионными объемами их отведения. До начала нулевых годов XXI столетия мелиоративные системы не рассматривались как объекты негативного воздействия на окружающую среду, а КДВ – как источники поступления загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. Установлено, что работа дренажных систем Центральной орошаемой зоны способствует нерегулируемому поступлению биогенов, остаточных количеств легко окисляемых органических соединений и солеобразующих ионов с дренажным стоком в естественные водоприемники [4,15-20].

Коллекторно-дренажный сток формируется за счет поступления в открытые каналы поверхностного (атмосферные осадки, таяние снега, поверхностная водная эрозия) и подземного стоков [4,21]. Схема нисходящих и восходящих водных потоков в пределах участка, приуроченного к орошаемому массиву, представлена на рисунке 1 [4].

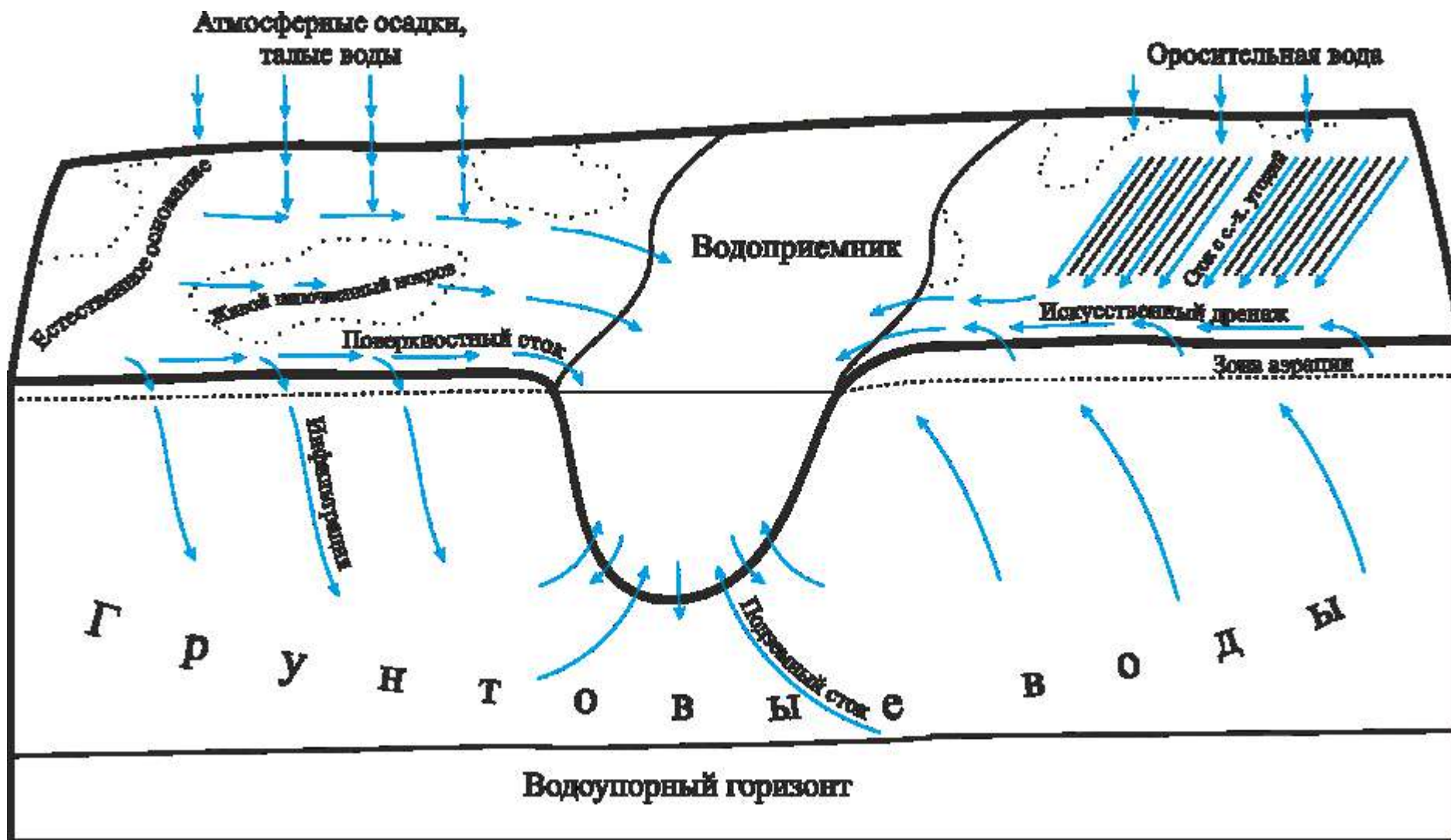


Рисунок 1 – Принципиальная схема водных потоков на участке, приуроченном к орошаемому массиву [4]

Результаты исследований за период 2016–2021 гг., проведенные научными сотрудниками ФГБУ «РосНИИПМ» и НИМИ ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» на территории, относящейся к Нижне-Донской ОС, показали, что в условиях орошения ионный состав подземного стока и грунтовых вод совпадает с таковым для воды в открытых коллекторах [4,18,21-25]. Так, например, анализ грунтовой воды в смотровом колодце глубиной пять метров, расположенном в 10 м от коллектора, показал значение минерализации 2471 мг/дм^3 , а в воде самого коллектора – 2212 мг/дм^3 , что подтверждает сопоставимость химического состава ГВ и КДВ [21].

Обработка данных химического анализа дренажно-сбросных вод, отводимых в р. Западный Маныч, оз. Большое, лим. Западенский, лим. Шахаевский и др. водоприемники за период 2014–2015 гг., проведенная учеными ФГБНУ «РосНИИПМ», показала, что химический состав воды колеблется от сульфатной и хлоридно-кальциевой группы до сульфатно-хлоридного класса натриевой и магниевой группы, с преобладанием более токсичного сульфатно-хлоридного класса натриевой группы [23].

По итогам проведения научно-исследовательской работы в 2019 – 2021 гг. учеными НИМИ им. А. К. Картунова ФГБОУ ВО «Донского ГАУ» установлено, что ионный состав воды в фоновом створе, створе выпуска КДВ и контрольном створе указывает на значительное повышение концентрации кальция (на 28,4–48,2 %), сульфатов (23,3–29,8 %) и магния (27,1–40,2 %) по сравнению со значениями прошлых лет [23], что связано с резким снижением количества атмосферных осадков и, как следствие, водности рек [4].

Таким образом, рост концентрации солеобразующих ионов в природных водных объектах в местах сброса КДВ является одним из ключевых факторов, определяющих гидрохимический режим природных, в особенности малых, водных объектов на сельскохозяйственных территориях юга Ростовской области.

Исходя из выше изложенного необходимо дальнейшее изучение гидрохимического состава коллекторно-дренажных вод, соответствия их качественного состава установленным федеральным нормативам качества водных объектов, и

почвенно-мелиоративной пригодности повторного их использования для орошения сельскохозяйственных культур. Для этого необходимо изучить динамику химического состава воды в открытых коллекторах от момента подачи воды в оросительную сеть до окончания поливного сезона.

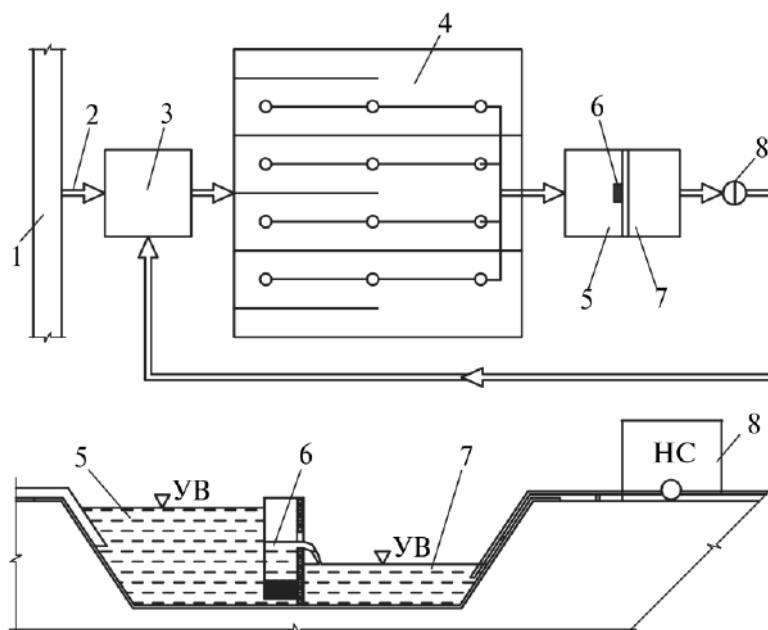
1.2 Оценка технологий и технических решений очистки дренажных вод

Сложность очистки сточных, в том числе дренажных вод, в последние годы становится все более очевидной [26-29]. Реальность такова, что существует ограниченное количество технических решений, доступных для практического применения.

Прежде всего, целесообразность применения конкретного технического решения зависит от объема и химического состава стока. Например, для осушаемой зоны, где коллекторно-дренажные воды фактически пресные, приемлемы простые и относительно дешевые способы водоочистки. Наиболее доступными с точки зрения эксплуатационных финансовых затрат являются биоинженерные сооружения (рисунок 2) в виде ботанических площадок, биоплато и биопрудов с посадками высшей водной растительности [27]. В Италии таковые сооружения применяют для очистки промышленных стоков от органических загрязнителей, в Германии – как составной элемент очистных установок. Опыт эксплуатации биоинженерных сооружений в США показал, что при использовании макрофитов удаляется 60–90 % взвешенных веществ, 40–90 % соединений азота, 10–50 % соединений фосфора [30-31].

В целях увеличения эффективности водоочистки биоинженерные сооружения дополняют специальными фильтрами (перегораживающими фильтрующими устройствами или фильтрующими основаниями биоплато) из природных или дешевых искусственных сорбционных материалов. В ФГБНУ ВНИИГиМ

им. А. Н. Костякова [32] разработаны сорбенты на базе природного карбонатного сапропеля для очистки от пестицидов, солей тяжелых металлов, нефтепродуктов и ряда химических элементов (таблица 2). Исследователями отмечено [33], что использование ионообменных фильтров позволило обеспечить очисткой 10–50 га орошаемых земель с модулем дренажного стока 0,15–0,025 л/с га при пропускной способности очистного сооружения – 100 м³/сут.



1 – магистральный канал; 2 – внутрихозяйственная сеть; 3 – внутрисистемный компенсационный водоем; 4 – орошаемые земли с дренажом; 5 – аккумулирующий водоем для дренажных вод; 6 – биоинженерное очистное сооружение; 7 – аккумулирующий водоем для разбавления дренажных вод; 8 – насосная станция

Рисунок 2 – Технологическая схема для сбора, очистки и разбавления дренажных вод в целях внутрисистемного орошения [27, 34]

Таблица 2 – Сорбционные характеристики сапропеля и сорбентов на его основе [33]

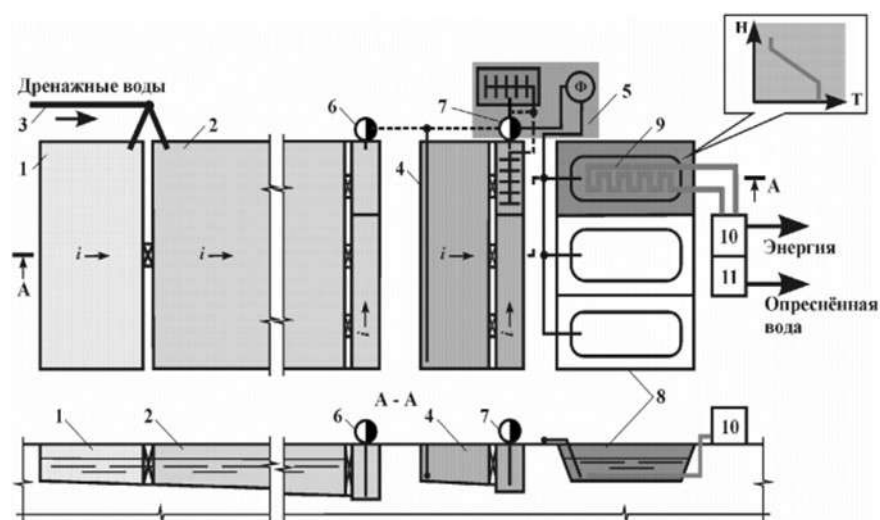
Вещество	АУ	Сапропель гранулированный	СОРБЭКС	САПРОЛЕН	Сапропель- Актив
ПАВ	1,5/–	0,44/88	0,47/95	0,29/58	0,49/98
Zn ²⁺	0,005/–	2,25/85	2,58/98	–/91	1,25/97
Cu ²⁺	0,038/–	0,87/95	0,85/92	–/87	0,43/95
Pb ²⁺	0,054/–	0,70/89	0,74/94	–/87	0,35/97

Примечание – в числителе – статистическая обменная емкость в мг/г, в знаменателе – процент поглощения вещества.

По данным И.И. Конторович [35], при исходной минерализации воды 3 г/л обеспечивается снижение содержания NO₂[–], NO₃[–], NH₄⁺, тяжелых металлов и пестицидов на 50–100 %, Cl[–] и SO₄^{2–} – на 40–50 %, регулирование pH – в пределах

6,5–8,4, соотношения Na^+ с Ca^{2+} – до значений менее 1, Mg^{2+} с Ca^{2+} – до значений менее 1,5.

В орошаемой зоне коллекторно-дренажные воды образуются в большом объеме и имеют повышенную минерализацию 3–6 г/л, на исходно засоленных землях минерализация может достигать 10 г/л и более. В таких условиях наиболее распространенный способ очистки – аккумуляция и испарение или повторное использование на орошение [36–38]. Для этого используют естественные понижения и искусственные пруды-испарители (рисунок 3).



- 1, 2 – накопитель-испаритель дренажного стока; 3 – дренажный коллектор; 4 – испаритель рассолов; 5 – блок кондиционирования рассолов; 6, 7 – насосная станция; 8 – солнечный водоем (три отсека); 9 – тепловой трубопровод; 10 – энергетическая установка; 11 – опреснительная установка; i – уклон дна; H – расстояние от дна солнечного водоема; T – температура рассола

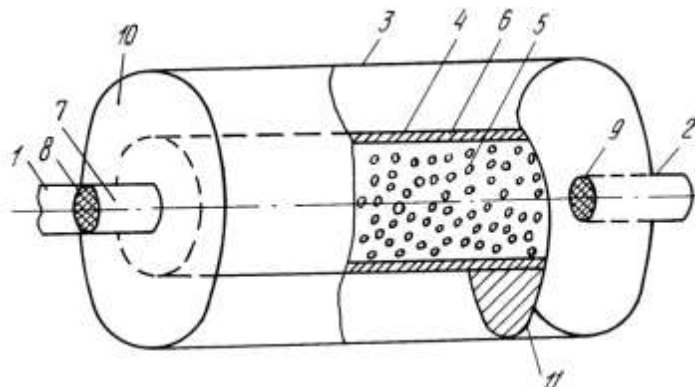
Рисунок 3 – Комплекс сооружений для обработки дренажных вод в процессе их аккумуляции, вид в плане и разрез по А-А [23,39]

В США пруды-испарители последовательно разделяют на отсеки, через которые сточные воды ступенчато пропускаются и, постепенно увеличивая концентрацию солей, окончательно осаждаются в последнем отсеке; в долине Сан-Хоакин построен пруд-испаритель с разделением на 10 отсеков [40]. В Украине построен пруд-испаритель, засаженный высшей водной растительностью, в составе которого имеется специальный отсек аэрации [40]. В Узбекистане в целях повторного использования дренажный сток с 1970-х гг. в большинстве случаев от-

водят в Сарыкамышское озеро, только в 2017 г. общая площадь озера составляла около 4 тыс. км² [41].

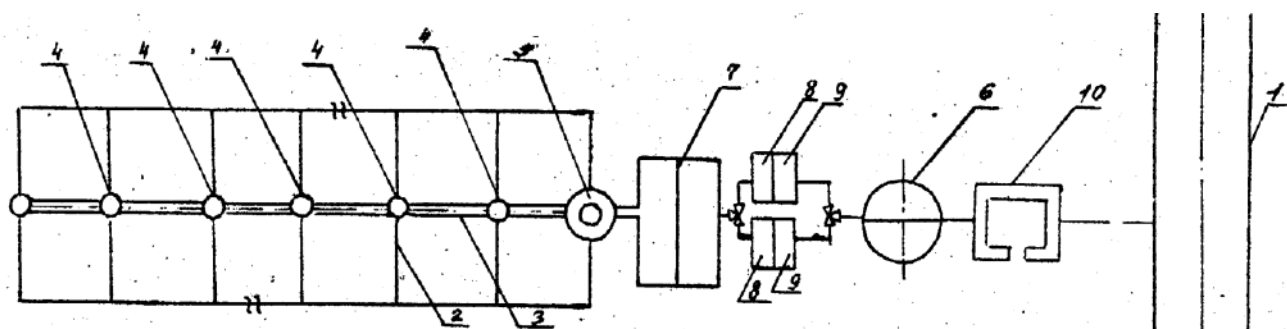
Главный недостаток рассматриваемых решений – отчуждение значительных площадей. Например, по данным [36] в Волгоградской области при уровне обеспеченности 75 % площадь прудов-испарителей составит 2,6–6,1 % от площади орошения или 8–8,3 % от площади дренирования [23].

В составе гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны России активно применяют локальные водоочистные сооружения с использованием сорбционного метода очистки. Известны технические решения для очистки непосредственно в самой дрене, дренажном колодце и мелиоративном канале (рисунки 4–6).



1 – входной патрубок; 2 – выводной патрубок; 3 – внешний кожух; 4 – внутренний, перфорированный патрон; 5 – гранулированный сапропель; 6 – волокнистый фильтр; 7 – фильтр для удаления механических примесей; 8, 9 – латунная сетка; 10 – накопительная емкость; 11 – непроницаемая перегородка

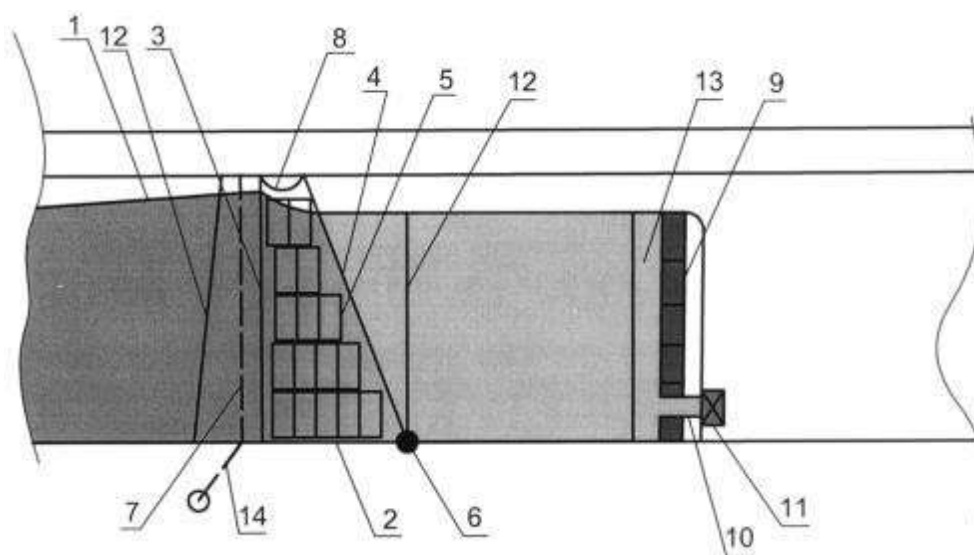
Рисунок 4 – Устройство для очистки дренажного стока (на базе дрены) [42]



1 – водоисточник-водоприемник; 2, 3 – водопроводящие и водоотводящие дренажные коллекторы; 4 – колодцы; 5 – регуляторы уровня; 6 – накопительные емкости; 7 – упакованные рулоны, обработанные глиноземом; 8, 9 – контейнеры с катионитовым и анионитовым фильтрами; 10 – насосная станция

Рисунок 5 – Система для комплексной очистки дренажного стока [43]

Из рисунка 5 следует, что для отведения дренажного стока и его очистки на конечных участках дренажной сети устраивают фильтрующий колодец или каскад из фильтрующих колодцев с кассетами с сорбентом. По расчетам Е. Б. Стрельбицкой и А. П. Соломиной [44] при размере колодца 1,5 x 1,5 м и толщине съемной фильтрующей кассеты 1 м, потребуется 2 т сорбента, который при емкости поглощения 250 мг-экв/100 г удержит 100 кг загрязняющих веществ.



1 – дренажный канал; 2 – кассетоудерживающее устройство; 3 – вертикальная решетчатая передняя стенка; 4 – решетчатая задняя стенка; 5 – кассеты с фильтрующим материалом; 6 – ось с возможностью поворота в вертикальной плоскости; 7 – сетчатый экран; 8 – лоток; 9 – шандорная стенка; 10 – сбросной патрубок; 11 – запорный вентиль; 12 – железобетонная стенка; 13 – стенка; 14 – тросики

Рисунок 6 – Система сооружений для очистки дренажного стока [45]

Кассеты с фильтрующим материалом как на рисунке 6 могут быть представлены в различных формах и размерах, устанавливаться на устьях закрытых дрен, собирателя или коллектора, в перемычках открытых дрен и коллекторов, в русле дренажно-сбросного канала. В зависимости от расхода пропускаемой воды, начальной концентрации химических веществ, изотермы адсорбции и скорости фильтрования воды через загрузку, определяют площадь поперечного сечения кассеты. Кассеты такого типа применяют на участках с модулем дренажного стока менее 0,05 л/с га, при объеме стока до 1 тыс. м³/сут. [44].

Повсеместно используемыми методами деминерализации сточных вод также являются термическая дистилляция и мембранные технологии [126,127]. К

технически освоенным методам относят: обратный осмос, ионный обмен, электродиализ, гелиоопреснение и химическое осаждение [29, 46,128].

По мнению академика РАН В. В. Бородычева [47-49], наиболее перспективными направлениями утилизации дренажных вод являются опреснение способом зимнего дождевания, испарение в прудах-накопителях и прогрев.

Исследователи из ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова провели оценку степени очистки основных показателей загрязнения дренажных вод гумидной зоны России в зависимости от применяемой технологии [50,51], где предпочтительными оказались аэрация, сорбция и биологические способы очистки [32].

Основываясь на подробном понимании различных физико-химических и биологических методов, используемых для очистки сточных вод с повышенным содержанием солей, О. Lefebvre и R. Moletta [129] предложили общую последовательность очистки: 1) предварительная обработка (например, корректировка рН, коагуляция-флокуляция, фильтрация), 2) биологическая обработка (аэробная, анаэробная, комбинированная), 3) дополнительная физико-химическая обработка (например, обратный осмос, выпаривание).

В 2017 г. создан банк данных [52] о технологиях и технических решениях для утилизации дренажных вод с орошаемых земель, в работе [53] рассмотрена эффективность соответствующих направлений (таблица 3).

Таблица 3 – Направления по утилизации дренажных вод [23, 53]

Концептуальное направление	Способ реализации	Эффективность мероприятия, %
Технологии очистки	Мелиоративный биоканал	64
	Биохимическая очистка	70
	Сорбционная очистка	78
	Деминерализация (химический способ)	75
	Химическая мелиорация	80
Разбавление поливной водой	Соотношение разбавляемой и разбавляющей воды в зависимости от химического состава	100

В своем исследовании [26,27] д-р техн. наук Л.В. Кирейчева разработала принципиальную схему выбора технического решения по утилизации дренажного стока в зависимости от минерализации воды (рисунок 7). Из схемы видно, что при повышении минерализации возникает необходимость создания специальных тех-

нологических установок, которые, очевидно, требуют использования значительного объема расходных материалов, больших энергетических затрат, а также наличия квалифицированного персонала [54].

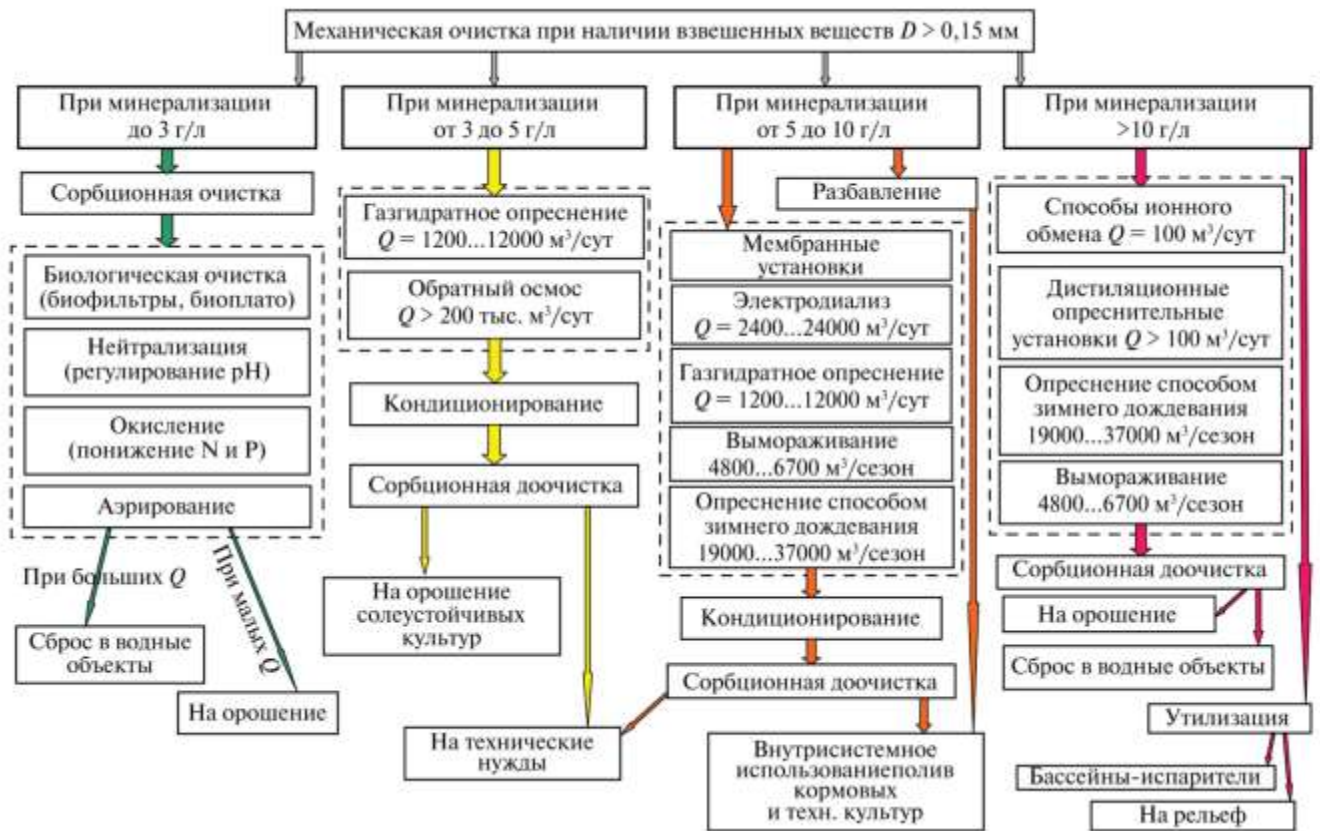


Рисунок 7 – Выбор технического решения по утилизации дренажного стока [24]

В работе исследователя из Университета Роуэна (США) P. Sahu [130] представлен анализ технологий очистки сточных вод с повышенной минерализацией, кратко описаны преимущества, ограничения, потенциальное применение и будущие перспективы каждой технологии (таблица 4).

К одному из основных направлений управления качеством коллекторно-дренажных вод, поступающих с орошаемых земель, относится разработка современных эффективных ресурсосберегающих технологий их очистки, обеспечивающих экологическую безопасность природных водных объектов [55].

Таблица 4 – Анализ технологий очистки минерализованных сточных вод [130-141]

Технология	Достоинства	Недостатки	Перспективы будущих исследований	Технологический статус	Возможность применения
1	2	3	4	5	6
Обратный осмос	Относительно незначительные финансовые расходы на обслуживание, широкие возможности применения и большой выбор моделей под любые потребности, высокая эффективность очистки	Высокие капитальные финансовые затраты, значительное потребление электроэнергии при эксплуатации, необходимость предварительной подготовки воды перед очисткой, загрязнение мембран	Улучшение материала мембран, разработка ингибиторов образования накипи, интеграция возобновляемых источников энергии	Коммерческий масштаб (ведущая технология)	Очистка морской или солоноватой воды, очистка промышленных и минерализованных сточных вод
Термическое многоступенчатое испарение	Простота проектирования, возможность испарения высокоминерализованной воды, надежность работы	Относительно высокие капитальные финансовые затраты, значительное отчуждение территории под строительство, проблема образования коррозии и накипи	Внедрение недорогих строительных материалов, использование возобновляемых источников энергии и когенерационных электростанций	Коммерческий масштаб	Очистка морской или солоноватой воды
Ионный обмен	Возможность обработки концентрированной солоноватой воды, селективное удаление ионов металлов и органических анионных компонентов	Высокая стоимость и регенерация смолы, необходимость утилизации использованных реагентов, значительные затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию	Интенсификация процесса очистки для крупномасштабного применения	Коммерческий масштаб	Очистка неорганических промышленных сточных вод
Электродиализ	Относительно низкое энергопотребление, минимальные требования к качеству исходной воды, отсутствие необходимости применения реагентов	Высокие капитальные финансовые затраты, образование накипи, необходимость предварительной очистки от взвешенных и коллоидных частиц, загрязнение мембран	Разработка мембранных материалов в соответствии с потребностями	Коммерческий масштаб	Очистка солоноватой воды, рассола обратного осмоса

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
Мембранный биореактор	Малая площадь занимаемого оборудования, работа при высоких значениях взвешенных твёрдых веществ и органических загрязнителей	Существенные эксплуатационные затраты, необходимость регулярного обновления оборудования, риск разрыва мембран и забивания их пор, обрастание мембран	Контроль обрастания мембран	Коммерческий масштаб	Очистка высококонцентрированных сточных вод
Мембранная дистилляция	Низкое потребление электроэнергии, возможность очистки высокоминерализованной воды	Высокая стоимость мембран, загрязнение и смачивание мембран	Возможность интеграции с источником отработанного тепла и солнечной энергией, изготовление супергидрофобных мембранных материалов	Масштаб НИОКР	Нефтехимические промышленные стоки, концентраты обратного осмоса, метаболические сточные воды
Прямой осмос	Менее энергоёмкий, чем обратный осмос, гибкость работы	Проблемы обратного солевого потока и концентрационной поляризации	Разработка подходящих мембран и растворов для вытяжки	Масштаб НИОКР	Очистка свалочного фильтрата, концентрата промышленных отходов

Основные научные разработки технологий очистки дренажного стока связаны с совершенствованием конструкций фильтрующих технологических узлов и подбором эффективных фильтрующих загрузок. Указанные два направления научных работ обеспечивают снижение негативного воздействия на водные объекты, повышению устойчивости водных экосистем.

В современной практике очистки коллекторно-дренажных вод используются достаточно несложные и финансово доступные технические решения биологической и сорбционной очистки. В орошаемой зоне основные направления водоочистки связаны с применением сорбционно-фильтрующих сооружений в составе мелиоративных систем в виде биофильтров, либо биоплато, направленных, прежде всего, на очистку дренажных вод от биогенов и пестицидов. Для удаления из воды солеобразующих ионов на сегодняшний день известны три эффективных направления очистки: первое – это электродиализ - процесс мембранного разделения, в котором солеобразующие ионы переносятся через мембрану под действием электрического поля; второе – это обратный осмос, который также относится к мембранным процессам очистки и третье - адсорбция на ионообменных смолах (ионитах). В первых двух случаях требуются источники электроэнергии, которые отсутствуют в реальных условиях. Кроме того, помимо обессоленной воды образуется более концентрированный раствор, который потребует утилизации, что затруднительно в полевых условиях. Следовательно, для эффективного удаления солеобразующих ионов в условиях открытой коллекторно-дренажной сети больше всего подходит способ ионообменной адсорбции на ионитах.

Поскольку дренажный сток имеет непостоянный объем и гидрохимический состав, децентрализован относительно территории орошаемых земель, то оправданным решением может стать устройство модульных энергонезависимых локальных очистных сооружений в местах непосредственного формирования дренажного стока, вместо устьев коллекторов, где формируется его полный сток.

1.3 Рабочая гипотеза и блок-схема проведения исследования в части очистки дренажного стока

На основании проведенного анализа состояния вопроса, строящегося на изучении проблемы загрязнения водоприемников возвратными водами при орошении, и последующих мероприятий в области применения различных технологий и технических решений по очистке сточных вод, были разработаны рабочая гипотеза и блок-схема исследования, включающая следующие основные этапы (рисунке 8):

- 1 Анализ современного состояния проблемы водоотведения и очистки сточных вод,
- 2 Обоснование и разработки рабочей гипотезы исследований,
- 3 Постановка цели и задач исследований,
- 4 Определение исходных данных для выявления факторов и критериев, влияющих на процесс очистки сточных вод,
- 5 Разработка технологического подхода к локальной очистке дренажного стока с использованием ионитов,
- 6 Теоретико-практическое обоснование применения предлагаемого технического подхода, включающего описание технологической схемы локального очистного сооружения,
- 7 Техническое, экономическое и экологическое обоснование эффективности предложенного технического решения очистки дренажного стока с помощью ионитов.

Основа рабочей гипотезы состоит в том, что за счет сочетания механических и физико-химических воздействий на процесс очистки дренажного стока, при использовании ионообменных сорбционных материалов и регулируемой оптимизации технических параметров, возможно получение различных способов удаления главных ионов и биогенных веществ. При этом комплексно могут ре-

шаться задачи, способствующие улучшению экологического состояния окружающей среды за счет снижения уровня ее загрязнения минерализованным дренажным стоком, и ресурсосбережения в сфере выращивания сельскохозяйственной продукции за счет создания водооборотных систем.

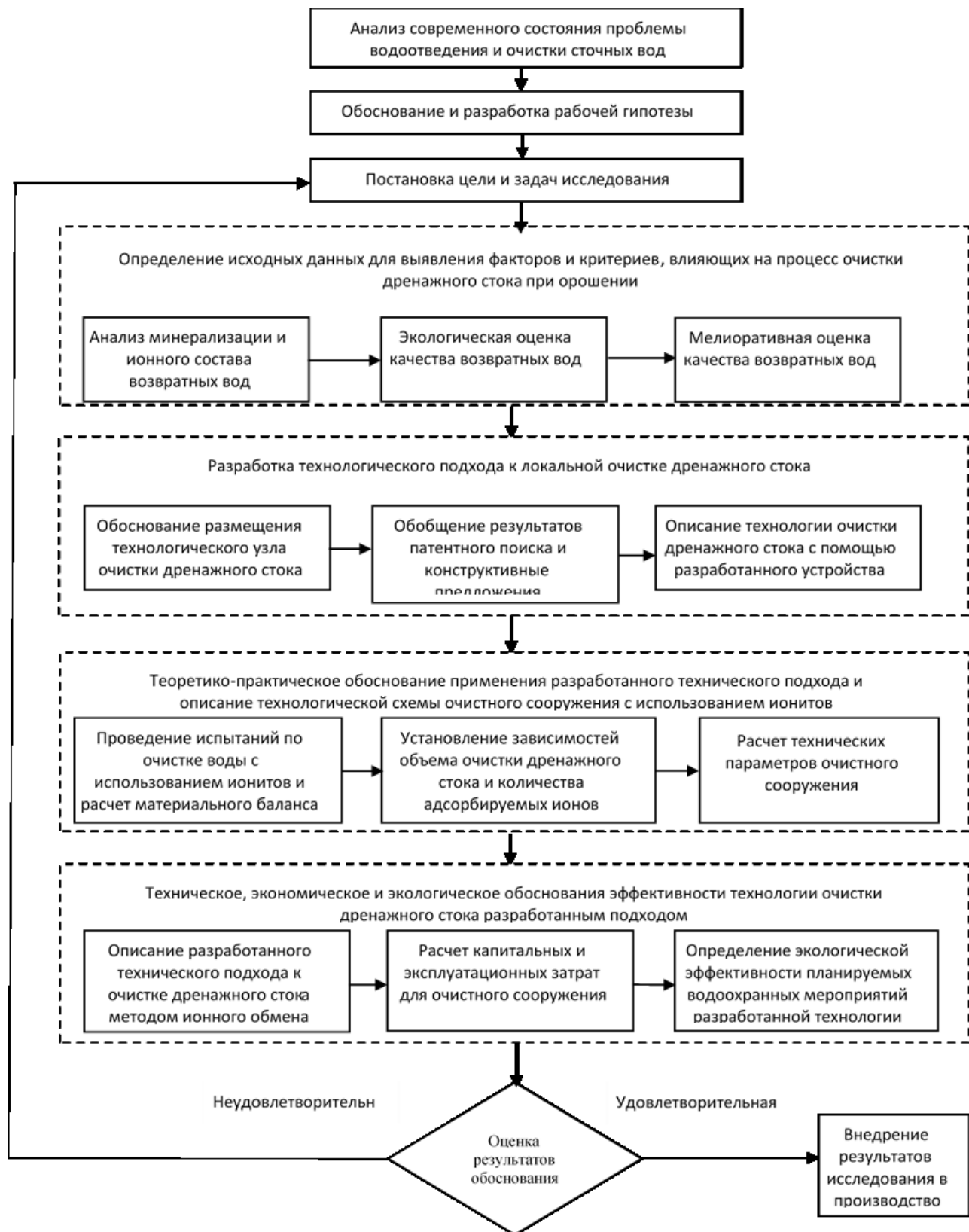


Рисунок 8 – Блок-схема проведения исследований

Выводы по главе 1

1. Анализ современных исследований показал, что качество коллекторно-дренажных вод определяется антропогенными и природными факторами: расходом поливной воды, степенью дренированности орошаемых территорий, гидрогеохимическими условиями, количеством применяемых химических средств защиты растений и удобрений, уровнем организации эксплуатации оросительной и коллекторно-дренажной сети.

2. В современной практике очистки коллекторно-дренажных вод используются достаточно несложные и финансово доступные технические решения биологической и сорбционной очистки. В орошаемой зоне основные направления водочистки связаны с применением сорбционно-фильтрующих сооружений в виде биофильтров, либо биоплато, направленных, прежде всего, на очистку дренажных вод от биогенов и пестицидов. Для удаления из воды солеобразующих ионов на сегодняшний день известны три эффективных направления очистки: электродиализ, обратный осмос и ионообменная абсорбция. В условиях открытой коллекторно-дренажной сети наиболее эффективным способом очистки дренажных вод от солеобразующих ионов является адсорбция на ионитах.

3. Разработан алгоритм технического, экономического и экологического обоснования эффективности предложенного технического решения очистки дренажного стока способом ионообменной адсорбции на ионитах.

ГЛАВА 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ И ДРЕНАЖНЫХ ВОД В ОТКРЫТЫХ КОЛЛЕКТОРАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К НИМ ПОЧВ НИЖНЕ-ДОНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

2.1 Общие характеристики коллекторно-дренажной сети Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

КДС Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» на территории Нижне-Донской ОС разделена на три водохозяйственных участка с номерами: 05.01.03.010, 05.01.05.009 и 05.01.05.001.

Выпуск № 1 осуществляется из коллектора К-3 в ер. Бешеный (N47°31'11" E41°21'06"), выпуск № 2 – из коллектора ЛС-2 в р. Солёную (N47°31'27" E41°15'52"), выпуск № 3 – из коллектора МКЛ-7 в ур. Колодезьки (N47°31'49" E41°06'24"). Схема водоотведения из указанных коллекторов представлена на рисунке 9.

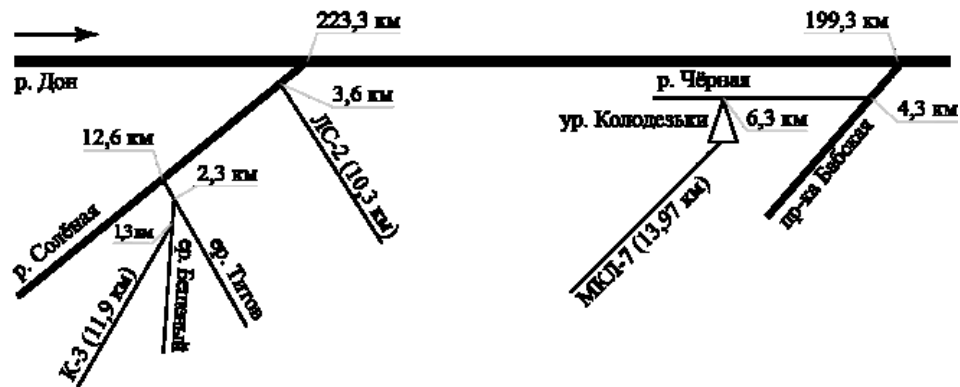


Рисунок 9 – Коллекторно-дренажная сеть ФГБУ «Управление
«Ростовмелиоводхоз» на водохозяйственном участке 05.01.03.010

Выпуск № 4 осуществляется из коллектора ЦС в р. Дон (N47°32'29" E40°50'21"), выпуск № 5 – из коллектора БГ-МС-4 в пр. Костылёвский (N47°25'31" E40°46'15"). Схема водоотведения из указанных коллекторов представлена на рисунке 10.

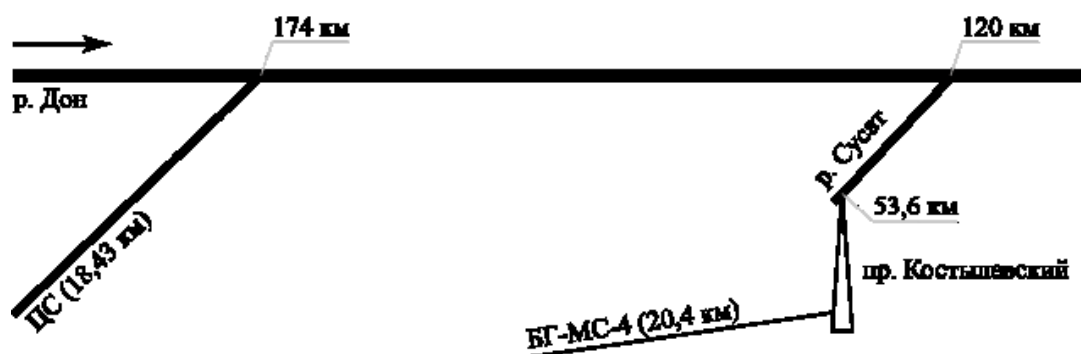


Рисунок 10 – Коллекторно-дренажная сеть ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» на водохозяйственном участке 05.01.03.009

Выпуск № 6 осуществляется из коллектора БГ-МС-1 в оз. Калмыцкое (N47°19'36" E41°02'58"), выпуск № 7 – из коллектора КСБ в р. Сал (N47°27'35" E40°57'05"). Схема водоотведения из указанных коллекторов представлена на рисунке 11.

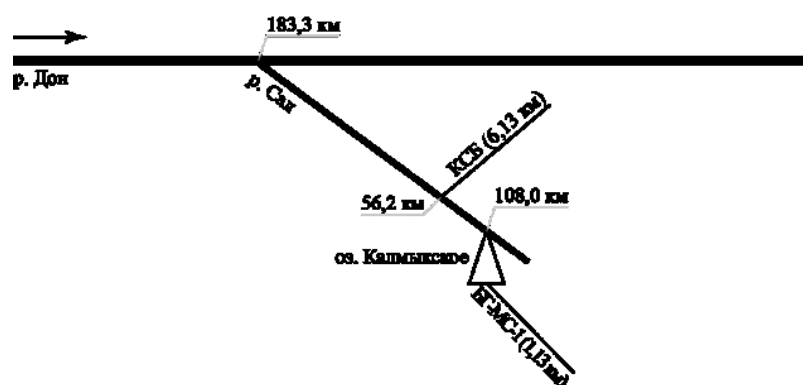


Рисунок 11 – Коллекторно-дренажная сеть ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» на водохозяйственном участке 05.01.03.001

Исследуемые коллекторы представлены открытыми каналами в земляном русле, это делает их схожими по гидродинамическим условиям с природными водотоками [56]. Источниками их пополнения являются дренажный сток с орошаемых земель, поднимающиеся в поливной сезон грунтовые воды, поверхностный сток с площади водосбора КДС и сбросные воды с поливных участков и оросительной сети.

Механизм формирования качественного состава возвратных вод на территории ОС определяется целым рядом независимых факторов, которые меняются от времени года. Так, вневегетационный период на химический состав воды главным образом влияют:

- площадь водосбора КДС,
- степень естественной дренированности территории,
- глубина залегания уровня грунтовых вод,
- климатические факторы (атмосферные осадки и талые воды),
- номенклатура и качество вносимых удобрений.

В период вегетации помимо указанных факторов существенное влияние оказывают:

- способ орошения,
- оросительная норма,
- объем технологического сброса оросительной воды,
- поливная площадь.

Следовательно, химический состав возвратных вод разнообразен и в целом зависит от регионального гидрохимического режима, поэтому в данной главе представлены результаты натурных исследований качества природной и дренажных вод в открытых коллекторах, прилегающих к ним почв, на территории Нижне-Донской ОС для последующего анализа динамики минерализации и ионного состава, экологической и мелиоративной оценок.

Т. к. все водные объекты, в которые осуществляется отведение возвратного стока, входят в бассейн р. Дон, можно считать, что эксплуатация КДС Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» способствует внутрибассейновому перераспределению поверхностных вод. Объем отведения возвратных вод из исследуемых коллекторов за 2015–2019 гг. приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Объем отведения возвратных вод из исследуемых коллекторов [21]

Индекс коллектора	Допустимый объем отведения, тыс. м ³	Фактический объем отведения, тыс. м ³				
		2015	2016	2017	2018	2019
К-3	1000	590	541	541	636	602
ЛС-2	1927	520	500	500	333	224
МКЛ-7	8470	2890	2841	2841	2744	2491
ЦС	6089	1561	1547	1547	1606	1543
БГ-МС-4	3552	1818	904	135	846	827
БГ-МС-1	1200	125	135	155	106	216
КСБ	1086	251	155	504	145	102

По представленным данным видно, что фактический объем отведения от допустимого составляет для: коллектора К-3 – 58 %, ЛС-2 – 21,5 %, МКЛ-7 – 32,6 %, ЦС – 25,6 %, БГ-МС-4 – 31 %, БГ-МС-1 – 12,3 % и КСБ – 15 %.

2.2 Анализ динамики качества дренажных вод в открытых коллекторах

Анализ химического состава воды в открытых коллекторах на территории Нижне-Донской ОС проводили на основании схем КДС и установленных точек отбора проб в местах сопряжения каналов проводящей сети (приложение А). Пробы воды отбирали в 2019 и 2021 гг. до, в период и по окончании поливного сезона, химический анализ проводили по методикам перечня [57-66] в учебно-научной испытательной мелиоративной лаборатории НИМИ ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» [21]. Результаты анализа приведены в таблицах Б.1–Б.4 (приложение Б).

Время взятия проб воды охватывает вегетационный период и позволяет проследить динамику химического состава от момента подачи воды в систему в апреле до окончания поливного сезона и прекращения поступления воды в магистральный канал в октябре.

На основании результатов химического анализа проб воды установлено, что значительное превышение ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{рх}) прежде всего отмечено по ионам, формирующим ионно-солевой состав.

В коллекторе К-3 (рисунок 12) наиболее высокая минерализация воды (по сухому остатку) отмечена до и по окончании поливного сезона. Непосредственно после подачи воды в магистральный канал и последующей промывки коллектора, минерализация в результате разбавления снизилась почти в три раза и более, ва-

рыруясь в течение поливного сезона, достигая нормативных значений. В августе–сентябре минерализация воды в коллекторе составляла около 0,8 г/л, что связано с применением промывных режимов орошения более пресной донской водой. Так, в октябре, после прекращения подачи воды в магистральный канал и закономерного увеличения в дренажном стоке доли грунтовых вод, минерализации воды в коллекторе резко повысилась до 3 г/л.



Рисунок 12 – Место отбора проб воды в коллекторе К-3

В коллекторе ЛС-2 (рисунок 13) динамика минерализации воды за исследуемый период имеет зависимость, аналогичную предыдущей. Наиболее высокая концентрация солей (2,3 г/л) зафиксирована в апреле – до подачи воды в магистральный канал. С началом поливного сезона концентрация постепенно снижалась (1,2–0,8 г/л), а после уменьшения расхода поливной воды в сентябре – начала повышаться (1,8 г/л).



Рисунок 13 – Место отбора проб воды в коллекторе ЛС-2

В коллекторе МКЛ-7 (рисунок 14) наибольшие значения минерализации воды так же наблюдались в апреле (2,2 г/л) и октябре (1,8 г/л).



Рисунок 14 – Место отбора проб воды в коллекторе МКЛ-7

Данные по динамике минерализации воды в коллекторе БГ-МС-4 (рисунок 15) показали, что наибольшая концентрация солей (2,4 г/л) была в апреле. С началом поливного сезона минерализация воды снизилась (0,8–0,6 г/л).



Рисунок 15 – Место отбора проб воды в коллекторе БГ-МС-4

Для установления временной зависимости динамики минерализации дренажных вод из исследуемых коллекторов, были проведены сравнение показателей, полученных на современном этапе исследования (2019 – 2021 гг.), с данными за 1972 год, взятыми из отчета Ростовской зональной гидрогеолого-мелиоративной партией [22,67].

Изученные и полученные данные гидрохимических показателей дренажно-сбросных вод представлены в таблицах 6, 7 [68].

Таблица 6 – Гидрохимическая характеристика дренажно-сбросных вод коллекторов НДОС. Данные 1972 г.

Коллектор	Месяц	Химический состав, мэкв/дм ³				Сульфатная соленость rSO_4^{2-} / rCl^-	K_a
		Минерализация, мг/дм ³	rNa^+	rCl^-	rSO_4^{2-}		
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦС	IV	1324	8,11	5,28	6,86	1,306	10,25
	V	1164	11,8	5,8	10,602	1,83	8,95
	VI	899	9,02	4,5	7,522	1,67	1,65
	VII	1842	16,0	12,99	16,397	1,26	4,2
	VIII	1582	13,61	9,76	12,31	1,26	5,4
	IX	1202	11,20	6,8	8,198	1,205	7,5
	X	1936	10,0	5,21	8,33	1,6	3,3
К-3	IV	3344	37,90	30,00	20,40	0,68	1,82
	V	1366	19,00	16,60	3,40	0,205	3,36
	VI	1340	16,40	10,40	7,60	0,73	5,07
	VII	2870	28,01	20,40	17,40	0,85	2,6
	VIII	3390	39,30	33,40	21,60	0,65	1,6
	IX	2524	26,20	23,60	14,60	0,62	2,3
	X	2264	25,20	20,80	11,60	0,56	2,6
ЛС-2	IV	2256	22,04	12,0	17,10	1,425	4,1
	V	1644	15,20	9,80	10,20	1,041	5,3
	VI	1605	5,18	8,00	10,82	1,77	6,21
	VII	2650	27,19	18,80	16,99	0,904	2,8
	VIII	2612	33,00	24,80	16,60	0,67	2,1
	IX	1810	19,19	11,60	14,40	1,24	4,3
	X	1806	17,40	18,13	22,50	1,24	5,4
МКЛ-7	IV	1284	3,78	5,5	6,86	1,25	10,5
	V	1165	4,43	3,55	10,37	2,92	15,5
	VI	928	4,00	1,60	10,01	6,256	27,2
	VII	1546	7,11	1,80	18,22	10,12	20,1
	VIII	1174	5,32	1,66	12,53	7,55	24,1
	IX	706	4,00	1,60	6,90	4,31	27,6
	X	1346	6,31	1,70	15,82	9,30	21,9

Таблица 7 – Гидрохимическая характеристика дренажно-сбросных вод коллекторов НДОС. Данные 2019–2021 гг.

Коллектор	Месяц	Химический состав, мэкв/дм ³				Сульфатная соленость rSO_4^{2-} / rCl^-	K_a
		Минерализация, мг/дм ³	rNa^+	rCl^-	rSO_4^{2-}		
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦС	IV	2409	11,27	9,94	8,95	0,9	5,58
	V	1129	3,98	4,70	3,32	0,706	12,63
	VI	1410	6,212	6,19	4,94	0,79	9,29
	VII	1355	5,28	6,56	4,33	0,66	9,14

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
	VIII	845	2,69	4,51	2,39	0,53	13,89
	IX	733	3,12	3,18	1,84	0,58	18,17
	X	2147	4,71	12,39	8,48	0,68	5,31
К-3	IV	4152	42,04	34,73	22,1	0,64	1,59
	V	1414	9,81	9,38	7,18	0,76	6,08
	VI	1112	7,91	6,68	6,08	0,91	8,316
	VII	991	4,93	6,06	5,35	0,88	9,87
	VIII	821	2,87	4,99	4,06	0,81	12,615
	IX	770	4,83	3,46	4,06	1,17	15,36
	X	2982	20,78	24,87	19,18	0,77	2,395
ЛС-2	IV	2252	20,37	10,34	15,31	1,5	4,66
	V	1182	8,23	4,37	7,19	1,64	11,2
	VI	1006	6,37	3,94	6,35	1,6	13,014
	VII	678	2,27	2,93	3,69	1,3	16,91
	VIII	672	4,05	3,13	3,13	1,0	17,38
	IX	960	6,22	3,01	5,45	1,81	15,77
	X	1775	6,05	6,56	14,94	2,28	8,92
МКЛ-7	IV	2212	15,11	7,52	18,43	2,45	6,43
	V	1397	14,21	4,51	10,48	2,32	8,93
	VI	1531	11,33	5,07	12,73	2,51	9,11
	VII	1371	9,75	4,7	9,4	2,0	10,087
	VIII	1120	1,82	4,51	8,48	1,88	14,50
	IX	1194	4,83	3,46	4,06	1,17	15,426
	X	1831	8,72	7,89	15,67	1,98	7,15

Динамика минерализации дренажной воды в течение вегетационного периода в коллекторе ЛС-2 за период натурных исследований и в 1972 году представлена на рисунке 16 [68].

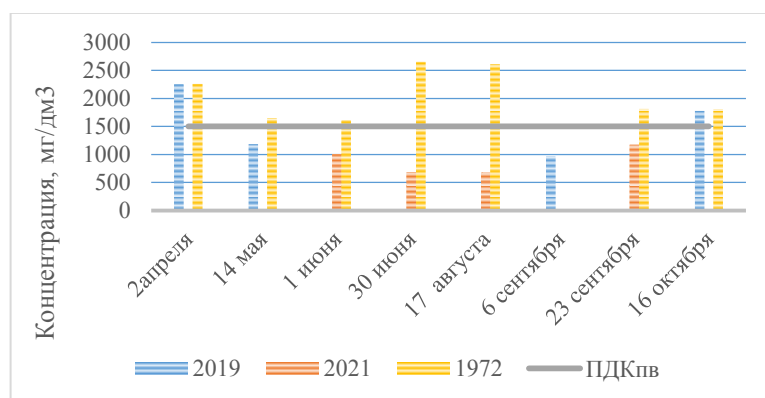


Рисунок 16 – Результаты исследований минерализации воды в коллекторе ЛС-2 за период наблюдения и 1972 г.

Установлено, что по сравнению с 1972 г. произошло значительное снижение минерализации, связанное с процессами рассоления почв за счет применения промывных режимов орошения.

Сравнение минерализации воды в коллекторе К-3 с данными за 1972 г. показывает существенное изменение содержания солей, как в количественном, так и во временном аспекте (рисунок 17). По данным 1972 г. минерализация воды в коллекторе К-3 значительно выше ПДК и резко возрастает, начиная с июня по август месяц. Показатель минерализации воды в 1972 г. в четыре раза выше по сравнению с современным периодом [68].

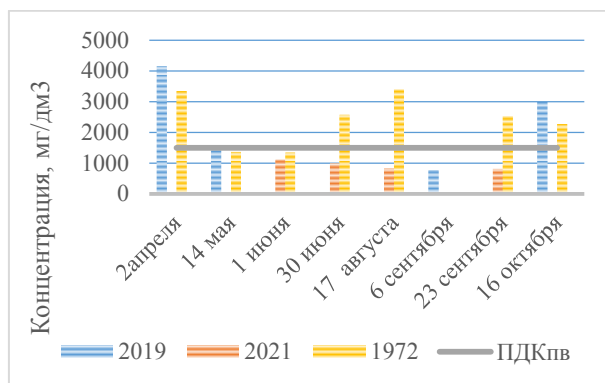


Рисунок 17 – Результаты исследований минерализации воды в коллекторе К-3 за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

Данные за 1972 г. показывают, что минерализация дренажной воды в коллекторе МКЛ-7 в среднем ниже, чем в современный период, особенно наглядно различие в до и после поливные периоды (рисунок 18). Полученные зависимости свидетельствуют о высокой степени антропогенной нагрузки на прилегающий к коллектору агроландшафт [68].

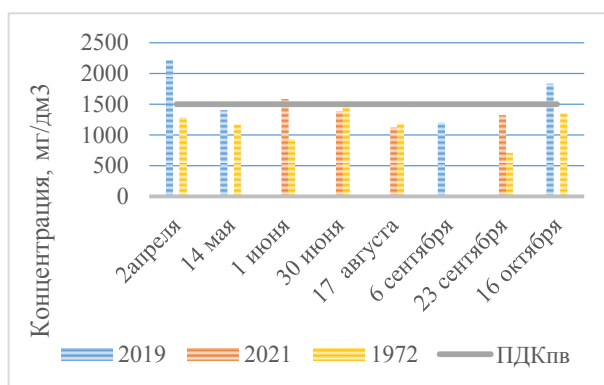
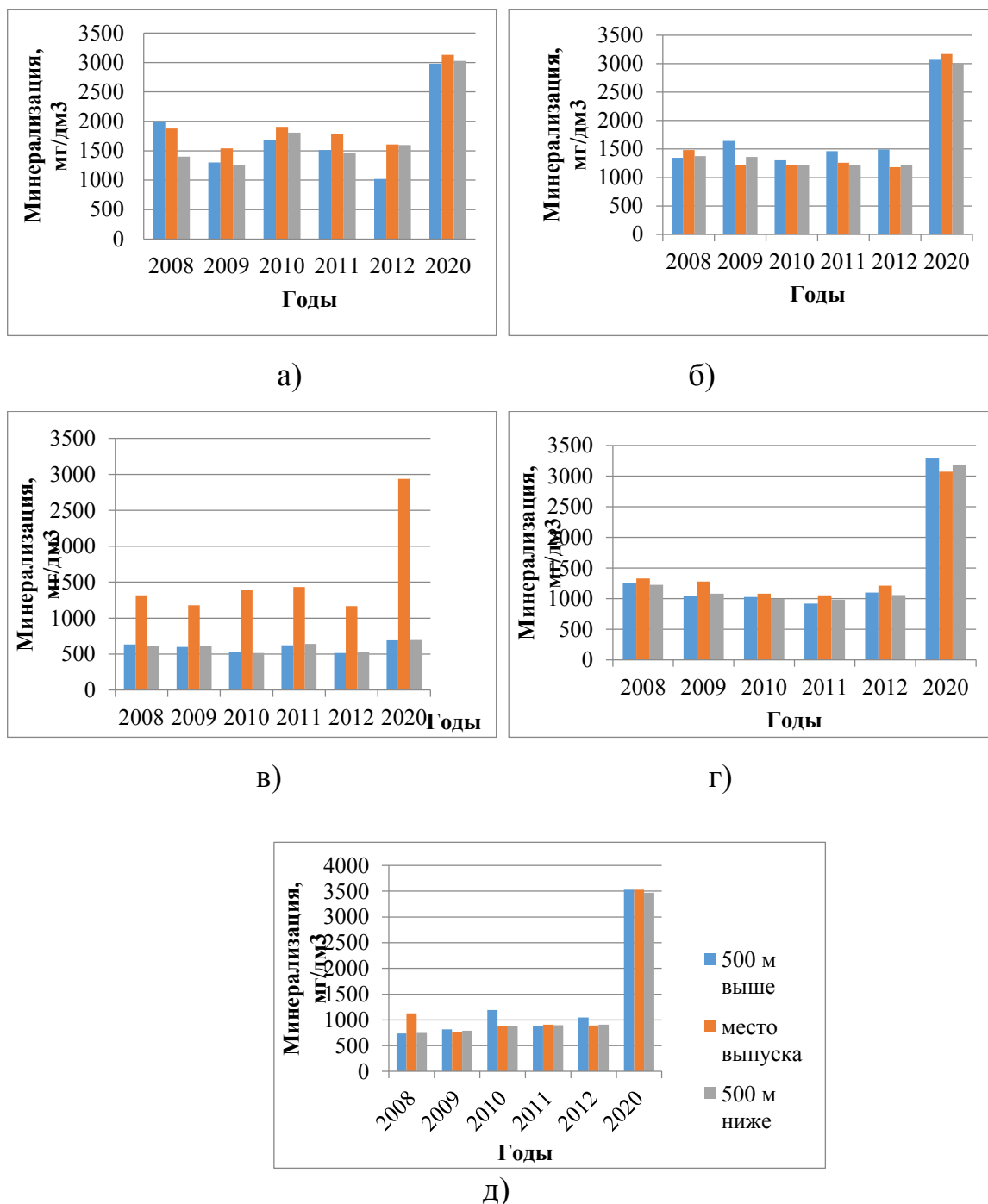


Рисунок 18 – Результаты исследований минерализации воды в коллекторе МКЛ-7 за период наблюдения и 1972 г.

На рисунке 19 представлена динамика минерализации в воде исследуемых коллекторов, показавшая нейтральный тренд за период 2008-2018 годы и резкий

скачок в 2020 году, что может быть объяснено неблагоприятными метеорологическими условиями: аномальным уменьшением количества атмосферных осадков, и, как следствие, увеличением объемов полива, повышением уровня минерализованных грунтовых вод и увеличением вымывания растворимых солей из почв. Аналогичная динамика отмечена для всех солеобразующих ионов.



а – ер. Бешеный (К-3); б – ур. Колодезьки (МКЛ-7); в – р. Дон (ЦС); г – р. Соленая (ЛС-2); д – пр. Костылевский (БГ-МС-4)

■ 500 м выше выпуска ■ место выпуска ■ 500 м ниже выпуска

Рисунок 19 - Динамика минерализации в воде исследуемых коллекторов

Динамика концентрации ионов, формирующих ионно-солевой состав воды, показала снижение Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ с мая по сентябрь в течение поливного сезона, и резкое повышение HCO_3^- в сентябре в период завершения полива, где первое объясняется прекращением интенсивного промачивания почвогрунта и выноса соответствующих подвижных ионов, а второе – тем, что одновременно с завершением полива и минимальным количеством осадков снижается расход дренажного стока в дрены и коллекторы, и для поддержания уровня воды в каналах подают пресную воду из проводящей сети.

За исследуемый период среди анионов преобладали в основном сульфаты, до начала поливного сезона их доля составляла в среднем 24,8 % и после незначительно снижалась до 18,9 %. С началом поливного сезона повышалась доля гидрокарбонатов (14,1 %), достигая максимума в сентябре (16,6 %). Доля хлоридов в составе ионов в начале поливного сезона была незначительна (13,8 %) и повышалась к октябрю (18,8 %).

Изучение динамики хлоридов и сульфатов в течение поливного сезона показало, что отмечаются максимальные их значения по всем коллекторам, за исключением БГ-МС-4 [69-71].

По результатам анализа установлено, что во всех коллекторах вода сульфатная либо сульфатно-гидрокарбонатная или гидрокарбонатно-сульфатная, реже хлоридная или хлоридно-сульфатная, натриевой и кальциевой групп. Тем не менее, химический состав воды подвержен резким колебаниям в течение вегетационного периода с ярко выраженной закономерностью [2,72,73].

Среднее содержание хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния и натрия в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г. Представлено на рисунках 20 – 26.

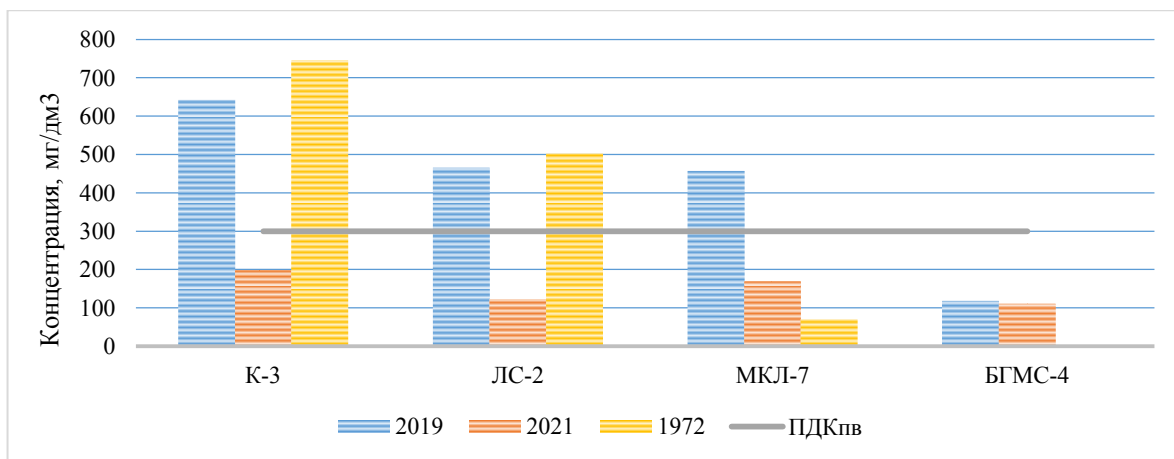


Рисунок 20 – Среднее содержание хлоридов в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

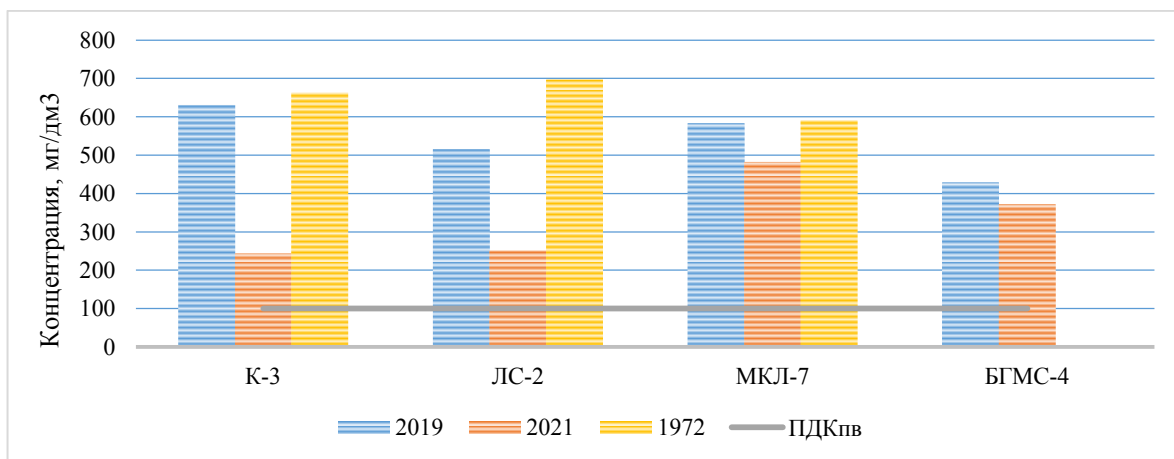


Рисунок 21 – Среднее содержание сульфатов в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

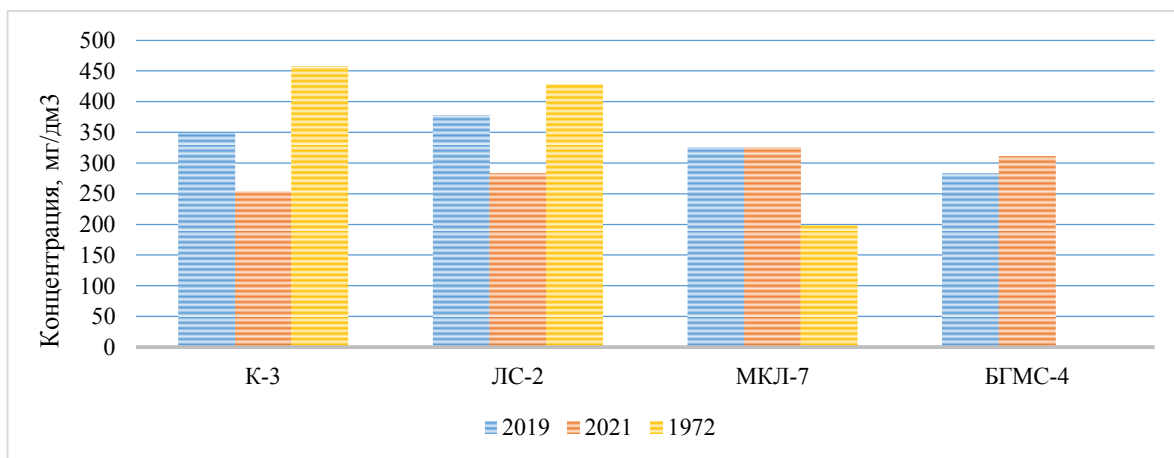


Рисунок 22 – Среднее содержание гидрокарбонатов в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

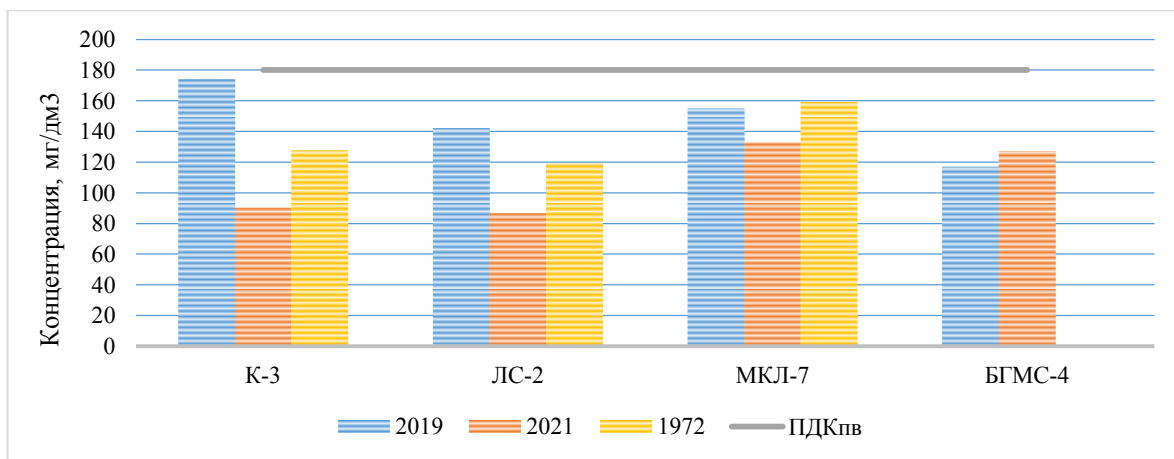


Рисунок 23 – Среднее содержание кальция в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

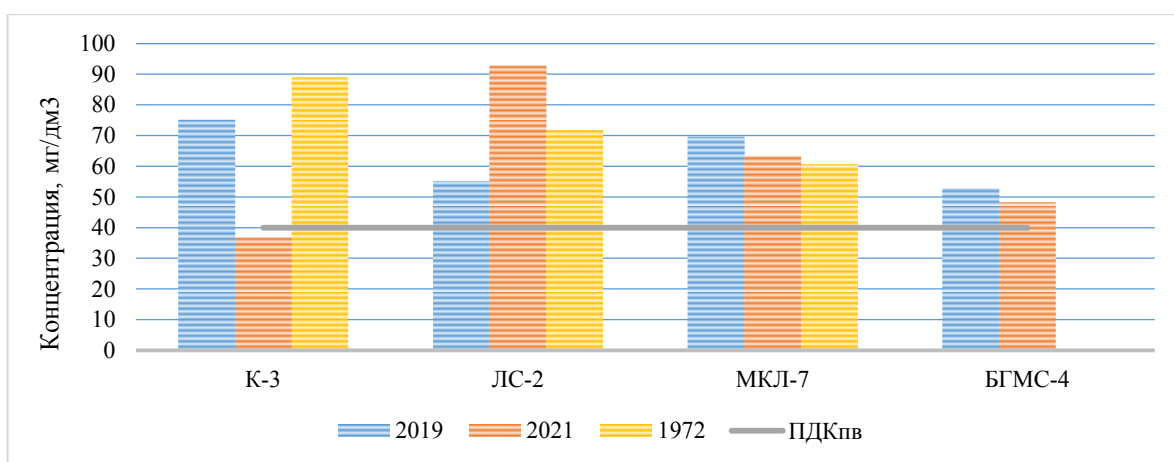


Рисунок 24 – Среднее содержание магния в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

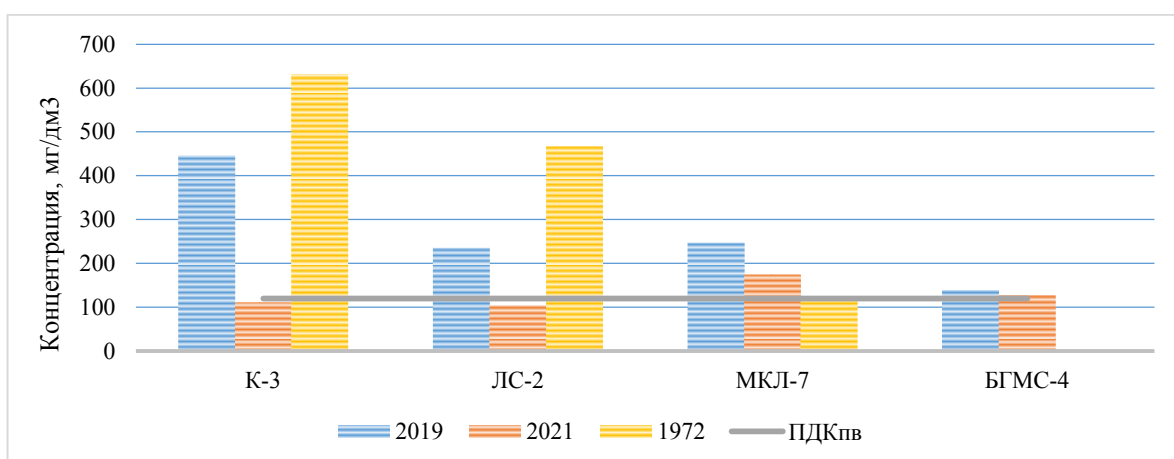


Рисунок 25 – Среднее содержание натрия в воде в коллекторах в вегетационный период за период наблюдения 2019, 2021 гг. и 1972 г.

При минерализации воды до 1,0 г/л среди преобладающих анионов выделяются SO_4^{2-} и HCO_3^- , а среди катионов – Na^+ и Ca^{2+} . По мере роста минерализации, класс воды меняется с сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевого на сульфатно-натриевый, при этом увеличивается концентрация Cl^- .

Для того чтобы обосновать устойчивость экологической безопасности и оценить динамику качества ДСВ в исследуемых коллекторах также был рассчитан ирригационный коэффициент и сульфатная соленость по данным, полученным в результате исследований в 2019–2021 годах.

Данные гидрохимических показателей дренажно-сбросных вод, представленные в таблицах 6,7 показали, что практически во всех случаях выполняется условие $r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Na}^+ > r\text{Cl}^-$

Так как источником оросительной воды, используемой хозяйствами, расположенными на территории Управления Нижне-донской оросительной системы, является Цимлянское водохранилище, то изучили ирригационные характеристики оросительной воды из НДМК в месте поступления в него донской воды, которые представлены в таблице 8 [68].

Таблица 8 – Ирригационные характеристики оросительной воды из НДМК (Цимлянского водохранилища)

Рассматриваемый год	Сульфатная соленость $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$	K_a
1972	1,09	43,24
2019	1,47	28,15

Результаты исследований рассмотрены как основа комплексной оценки экологической безопасности коллекторно-дренажных вод.

Сравнивая ирригационные характеристики воды из НДМК в 1972 и 2019–2021 годах необходимо отметить повышение сульфатной солености примерно на 35 %, т. е. в оросительной воде за последние 50 лет произошло увеличение содержания сульфатов. Ирригационный коэффициент по Х. Стеблеру с 1972 года к настоящему времени уменьшился в 1,54 раза, но при этом качество оросительной воды из НДМК остается по-прежнему хорошее [68].

В 1972 г. среднее значение коэффициента ирригации (K_a) ДСВ в поливной период в коллекторе К-3 составляет 2,98, в ЛС-2 – 4,14, ЦС – 5,54, МКЛ-7 – 22,96. В 2019-2021 гг. среднее значение коэффициента ирригации (K_a) в коллекторе К-3 составляет 10,44, в ЛС-2 – 14,85, ЦС – 12,62, МКЛ-7 – 11,61. При сравнении химизма коллекторно-дренажных вод в 1972 и 2019–2021 годах выявлено уменьшение сульфатной и соответственно рост хлоридной солености в коллекторе ЦС (центральный сброс). В коллекторах К-3 и ЛС-2 произошло улучшение ирригационных характеристик воды в поливной период с неудовлетворительного до удовлетворительного качества.

Полученные данные позволяют рекомендовать к повторному использованию ДСВ из коллекторов К-3 и ЛС-2 после их разбавления более пресной донской водой (оросительной водой из НДМК) с учетом качественного и количественного химического состава почв полей, и где возможна техническая реализация смешения таковых вод и наблюдается дефицит поливной воды. [68].

В коллекторе МКЛ-7 за рассматриваемый период наоборот произошло резкое ухудшение качества ДСВ, коэффициент ирригации (K_a) снизился с 22,96 (хорошее качество) до 11,61 (удовлетворительное), что делает невозможным их повторное использование на орошение без специальных приемов очистки.

Минерализация коллекторно-дренажных вод в рассматриваемых коллекторах в поливной период колеблется в широком диапазоне: в 1972 году от 706 до 3390 мг/дм³, в настоящее время от 672 до 1531 мг/дм³. Во-первых, такое большое колебание в течение поливного периода года указывает на различный химический состав почв и грунтовых вод, участвующих в их формировании. Во-вторых, за пятидесятилетний период четко просматривается влияние полива пресной донской водой и результаты промывных режимов орошения.

Целесообразность повторного использования коллекторно-дренажных вод на полив должна решаться на региональном уровне исходя из приоритетности и экономической целесообразности на чаше весов между затратами на очистку ДСВ с транспортированием воды – дефицитом пресной воды, производительность с/х продукции [68].

Содержание биогенных элементов (нитритов, нитратов и фосфатов) в воде определяется как природными внутри водоёмными процессами, так истоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются удобрения. Их концентрации в воде определяет трофический статус водного объекта и при чрезмерном поступлении происходит эвтрофирование водного объекта. Для воды коллектора К-3 концентрация нитритов и нитратов значительно ниже предельно допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственного значения (таблица 9), а содержание фосфатов превышает ПДК_{рх} в поливной период 1,65 -2,3 раза.

Таблица 9 – Кратность превышения концентраций нитритов, нитратов и фосфатов в дренажных водах коллектора К-3 по сравнению с их ПДК_{рх}

Показатель	ПДК _{рх} мг/дм ³	C _i /ПДК _i			
		1.06.21	30.06.21	17.08.21	23.09.21
Нитриты	0,08	0,6	0,11	0,4	0,125
Нитраты	40,0	0,01	0,01	0,02	0,01
Фосфаты	0,2	2,15	2,3	1,65	1,1

Для воды коллектора ЛС-2 концентрация нитритов и нитратов значительно ниже предельно допустимой концентрации для водных объектов рыбохозяйственного значения (таблица 10), а содержание фосфатов превышает ПДК_{рх} в поливной период в 1,5 -2,3 раза.

Таблица 10 – Кратность превышения концентраций нитритов, нитратов и фосфатов в дренажной воде коллектора ЛС-2 по сравнению с ПДК_{рх}

Показатель	ПДК _{рх} мг/дм ³	C _i /ПДК _i			
		1.06.21	30.06.21	17.08.21	23.09.21
Нитриты	0,08	0,11	0,16	0,125	0,08
Нитраты	40,0	0,01	0,01	0,01	0,01
Фосфаты	0,2	2,15	2,3	1,00	1,5

Оценивая содержание биогенов, установлено, что концентрация нитритов и нитратов значительно ниже предельно допустимой концентрации для водных объектов рыбохозяйственного значения (таблица 11), а содержание фосфатов пре-

вышает ПДК_{рх} в поливной период в 1,25 -2,5 раза.

Таблица 11 – Кратность превышения концентраций нитритов, нитратов и фосфатов в дренажной воде коллектора МКЛ-7 по сравнению с ПДК_{рх}

Показатель	ПДК _{рх} мг/дм ³	C _i /ПДК _i			
		1.06.21	30.06.21	17.08.21	23.09.21
Нитриты	0,08	0,125	0,113	0,175	0,075
Нитраты	40,0	0,009	0,012	0,017	0,008
Фосфаты	0,2	2,1	2,5	1,55	1,25

Данные за 1972 год по вышеуказанным коллекторам отсутствуют.

Анализ данных исследований минерализации воды в коллекторе БГ-МС-4 и ЦС показал наибольшую концентрацию солей в апреле, до подачи воды в магистральный канал (более 2000 мг/дм³). С началом поливного сезона минерализация дренажной воды снижается, что обусловлено промывными режимами орошения и поступлением сбросных вод более пресной оросительной воды из НДМК. В конце поливного периода минерализация дренажной воды в коллекторе БГ-МС-4 становится меньше 1000 мг/дм³.

Классификация воды по преобладающим ионам с делением по количественному составу между ними (по методике А. О. Алёкина [74]) для исследуемых коллекторов приведена в приложении В.

Исследование динамики среднесезонных значений минерализации и солеобразующих ионов в коллекторах показало, что во вневегетационный период гидрохимический состав дренажного стока зависит в большей степени от естественных факторов, а именно, в условиях дефицита снежного покрова на состав дренажных вод влияют минерализованные грунтовые воды. В вегетационный период наблюдается рассоление коллекторно-дренажного стока под влиянием более пресной оросительной воды.

2.3 Гидрохимическое состояние фоновых створов приемников коллекторно-дренажных вод

В ходе работы были изучены более 250 протоколов мониторинга малых водных объектов – приёмников КДВ в Семикаракорском районе за период 1995-2018 годы, предоставленные Гидромелиоративной партией Управления «Ростовмелиоводхоза» (испытательная лаборатория), таких как ерик Бешенный, река Солёная, урочище Колодезьки, Костылёвский пруд и др. изучена среднемноголетняя динамика концентраций ионов биогенных элементов, солеобразующих ионов, показателя минерализации и БПК_{полн} в фоновых створах с тем, чтобы установить динамику изменения фонового состояния водных объектов, находящихся в зоне влияния КДС [73]. Данные за 2019 и 2020 годы не использовались, так как указанные годы отличались минимальными расходами водных объектов в регионе по причине природно-климатических особенностей и, следовательно, являются не репрезентативными.

Анализ концентраций веществ в фоновом створе проведен на основе теории о нормальном распределении в программе Excel. Проверка нормального закона распределения концентраций осуществлялась по критерию согласия Пирсона с заданным уровнем значимости $\alpha = 0,05$ и числом степеней свободы $S = k - 3 = 4$ [75-78].

Анализ данных протоколов показал, что показателями, максимально превышающими нормативы ПДК для водных объектов рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, являются минерализация, сульфаты и натрий.

Статистическая обработка данных показала, что в период 1995 – 2001 гг. наиболее часто повторяющееся значение показателя минерализации воды в Ерике Бешенный находилось в интервале 1010 – 1676 мг/дм³, р. Солёная – 1022 – 1164 мг/дм³, урочище Колодезьки – 1130 – 1380 мг/дм³, пруду Костылевский – 930 – 1360 мг/дм³. В период 2008-2018 гг. значение показателя по исследуемым водным

объектам практически не изменилось, несмотря на внутри сезонные колебания, и лежало в тех же интервалах. Во всех рассматриваемых случаях среднееголетние повторяющиеся значения показателя минерализации лежали в пределах нормативов для водных объектов различной категории водопользования [79].

Кривые функции плотности нормального распределения сульфатов в период 1995 – 2001 гг. показали наиболее часто повторяющееся значение концентрации данного иона в воде Ерика Бешенного 150 – 300 мг/дм³, р. Соленой – 200 – 300 мг/дм³, ур. Колодезьки – 400 – 550 и в пруду Костылевский – 200 – 450 мг/дм³. В период 2008-2018 гг. отмечен повсеместный рост концентрации сульфат-иона, а именно: для Ерика Бешенный – 200 – 300 мг/дм³, р. Соленая – 250 – 400 мг/дм³, ур. Колодезьки – 400 – 550 мг/дм³ и пруд Костылевский – 150 – 350 мг/дм³. Во всех водных объектах установлено превышение норматива ПДК_{рх} в 1,5 – 5 раз.

Статистическая обработка распределения концентрации ионов натрия за рассматриваемый период показала следующее: в 1995 – 2001 годах наиболее часто повторяющееся значение концентрации в воде Ерика Бешенного лежит в интервале 290 – 475 мг/дм³, р. Соленая – 200 – 335 мг/дм³, урочище Колодезьки – 210 – 270 мг/дм³ и пруду Костылевский – 220 – 300 мг/дм³. В период 2008-2018 гг. в воде Ерика Бешенного лежит в интервале 280 – 420 мг/дм³, р. Соленая – 190 – 260 мг/дм³, урочище Колодезьки – 340 – 490 мг/дм³ и пруду Костылевский – 120 – 150 мг/дм³. Превышение содержания натрия отмечалось во всех водных объектах за исключением пруда Костылевский.

Исследование среднееголетних значений показателей ионно-солевого состава природной воды в фоновых створах показало, что минерализация в исследуемых водных объектах за 20-ти летний период наблюдений практически не изменилась, динамика концентрации сульфатов также не изменилась, но на протяжении всего наблюдаемого периода превышала ПДК_{рх} в 1,5 – 5 раз, концентрация ионов натрия в течение 20-ти лет варьировалась от 1,7 до 3,4 ПДК_{рх}, в пруду Костылевский установлено уменьшение за 20-ти летний период в 1,5 раза. Высокое содержание сульфатов в фоновых створах природных водных объектов не зависит от сброса в них коллекторно-дренажного стока (таблицы 12-14).

Таблица 12 – Средние многолетние значения минерализации воды в фоновых створах исследуемых малых водных объектов – приёмниках КДВ

Водный объект	Минерализация, мг/дм ³			
	Среднее выборочное за период		Доверительный интервал за период	
	1995-2001	2008-2018	1995-2001	2008-2018
Ерик Бешенный	1343,61	1513,61	$P\{1010,29 < 1343,61 < 1676,93\}=0,95$	$P\{1226,82 < 1513,61 < 1800,39\}=0,95$
Река Соленая	1250,06	1164,40	$P\{1022,41 < 1250,06 < 1164,4\}=0,95$	$P\{992,45 < 1164,40 < 1336,34\}=0,95$
Пруд Костылевский	1146,64	847,22	$P\{933,11 < 1146,64 < 1360,16\}=0,95$	$P\{751,52 < 847,22 < 942,81\}=0,95$
Урочище Колодезьки	1254,83	1429,81	$P\{1130,12 < 1254,83 < 1379,55\}=0,95$	$P\{1321,23 < 1429,81 < 1538,40\}=0,95$

Таблица 13 – Средние многолетние значения концентрации сульфатов в воде фоновых створов, исследуемых малых водных объектов – приёмниках КДВ

Водный объект	Концентрация сульфатов, мг/дм ³			
	Среднее выборочное за период		Доверительный интервал за период	
	1995-2001	2008-2018	1995-2001	2008-2018
Ерик Бешенный	479,52	443,59	$P\{372,18 < 479,52 < 586,86\}=0,95$	$P\{361,73 < 443,59 < 525,44\}=0,95$
Река Соленая	516,77	381,87	$P\{445,73 < 516,77 < 587,81\}=0,95$	$P\{322,65 < 381,87 < 441,09\}=0,95$
Пруд Костылевский	695,58	390,73	$P\{557,41 < 695,58 < 833,76\}=0,95$	$P\{329,75 < 390,73 < 451,72\}=0,95$
Урочище Колодезьки	455,86	446,77	$P\{403,59 < 455,86 < 508,13\}=0,95$	$P\{413,16 < 446,77 < 480,37\}=0,95$

Таблица 14 – Средние многолетние значения концентрации натрия в воде фоновых створов, исследуемых малых водных объектов – приёмниках КДВ

Водный объект	Концентрация натрия, мг/дм ³			
	Среднее выборочное за период		Доверительный интервал за период	
	1995-2001	2008-2018	1995-2001	2008-2018
Ерик Бешенный	383,11	349,21	$P\{289,79 < 383,11 < 476,43\}=0,95$	$P\{278,93 < 349,21 < 419,49\}=0,95$
Река Соленая	269,31	229,54	$P\{204,98 < 269,31 < 333,64\}=0,95$	$P\{195,26 < 229,54 < 263,81\}=0,95$
Пруд Костылевский	263,12	134,93	$P\{220,62 < 263,12 < 305,62\}=0,95$	$P\{119,92 < 134,93 < 149,94\}=0,95$
Урочище Колодезьки	240,62	411,99	$P\{212,76 < 240,62 < 270,49\}=0,95$	$P\{336,88 < 411,99 < 487,09\}=0,95$

2.4 Физико-химические свойства почвогрунта орошаемых участков, подвешенных к коллекторам

Поскольку процессы миграции происходят в водных растворах, то поверхностному и подземному стоку, нисходящим и восходящим движениям растворов в почвогрунте принадлежит определяющее значение в перераспределении химических элементов в разрезе почвогрунта. Почвы Семикаракорского района представлены черноземами обыкновенными с включениями солончаков [80-82].

Объектами исследования являлись орошаемые почвы Семикаракорского района Ростовской области, прилегающие к коллекторам К-3, ЛС-2, МКЛ-7 и ЦС (южный) НДОС [81-83].

Пробы почв с исследуемых участков отбирались с грунта 0-20 см, в начале поливного сезона (14.05.2019г.) и по его окончании (06.09.2019г.). Результаты исследований представлены в таблице 15 [81].

Таблица 15 – Химические показатели орошаемых почв, прилегающих к коллекторам (горизонт 0-20 см)

Показатели	Единицы измерения	Пробы орошаемых почв вокруг каналов							
		К-3		ЛС-2		МКЛ-7		ЦС (южный)	
		Н*	К**	Н*	К**	Н*	К**	Н*	К**
pH _{водн}	Ед. pH	7,9	6,47	7,7	7,2	7,85	7,35	7,6	7,2
Хлориды Cl ⁻	мг/100 г почвы	13,42	10,75	14,38	16,79	17,57	21,37	12,78	13,99
Сульфаты SO ₄ ²⁻	мг/100 г почвы	2,93	9,41	4,8	10,57	4,37	12,86	2,49	5,57
Гидрокарбонаты HCO ₃ ⁻	мг/100 г почвы	59,48	71,67	57,34	42,7	54,9	64,05	56,4	50,325
Карбонаты CO ₃ ²⁻	мг/100 г почвы	-	-	-	-	-	-	-	-
Кальций Ca ²⁺	мг/100 г почвы	15,0	13,44	17,0	21,12	15,5	24,0	14,0	8,64
Магний Mg ²⁺	мг/100 г почвы	2,14	1,296	2,75	2,02	3,97	3,17	2,14	2,59
Натрий Na ⁺ расч	мг/100 г почвы	10,7	20,56	6,75	2,37	7,38	10,49	10,25	15,80

Примечание: Н* – начало и К** – конец поливного сезона

На начало поливного периода по величине рН все почвы относятся к слабощелочным (рН 7,5-8,0), по окончании поливного сезона – к нейтральным (рН 6,0-7,5). Глубокое промачивание почв способствует выносу из неё наиболее подвижных ионов Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} в результате инфильтрации поливной воды и их поступлению из почвогрунта в дренажный сток. Вышеуказанные процессы играют важную роль в формировании химического состава воды в коллекторах и дренажах [84-88].

По данным натурных исследований провели оценку степени засоления орошаемых участков на начало вегетационного периода (май) и по его завершению (сентябрь), для чего пересчитали содержание ионов в водной вытяжке в ммоль/дм³ (таблица 16).

Таблица 16 – Состав водной вытяжки из почвы на орошаемых участках (в числителе - весенний период, в знаменателе - осенний период) [82]

Участки, подвешенные к коллекторам	Содержание ионов в ммоль/100 г почвы						рН
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	
К 3	<u>0,975</u>	<u>0,374</u>	<u>0,061</u>	<u>0,800</u>	<u>0,125</u>	<u>0,485</u>	<u>7,80</u>
	1,175	0,303	0,196	0,672	0,108	0,894	6,47
ЛС 2	<u>0,940</u>	<u>0,405</u>	<u>0,100</u>	<u>0,850</u>	<u>0,225</u>	<u>0,370</u>	<u>7,95</u>
	0,700	0,473	0,214	1,056	0,168	0,163	7,20
МКЛ 7	<u>0,900</u>	<u>0,495</u>	<u>0,091</u>	<u>0,775</u>	<u>0,325</u>	<u>0,386</u>	<u>7,70</u>
	1,050	0,602	0,268	1,200	0,264	0,456	7,35
ЦС (южный)	<u>0,925</u>	<u>0,360</u>	<u>0,052</u>	<u>0,700</u>	<u>0,175</u>	<u>0,462</u>	<u>7,70</u>
	0,825	0,394	0,116	0,432	0,216	0,687	7,2

Рассчитанное содержание ионов токсичных и нетоксичных солей на орошаемых участках, прилегающих к коллекторам, на глубине горизонта 0-20 см представлено в Приложении Г [67], степень и тип засоления (прогнозируемый) почв в таблице 17.

Таблица 17 – Классификация орошаемых почв (0-20 см), прилегающих к коллекторам, по степени и типу засоления в зависимости от химизма солей

Почвы, прилегающие к коллекторам	Исследуемый период	Сумма ионов токсичных солей, %	Степень засоления	$\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$	Тип засоления
1	2	3	4	5	6
К-3	Весна	0,0391<0,05	незасоленные	–	–

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6
	Осень	0,073 > 0,05	слабозасоленные	1,14	Сульфатно-хлоридный
ЛС-2	Весна	0,0359 < 0,05	незасоленные	–	–
	Осень	0,0174 < 0,05	незасоленные	–	–
МКЛ-7	Весна	0,0423 < 0,05	незасоленные	–	–
	Осень	0,0408 < 0,05	незасоленные	–	–
ЦС (южный)	Весна	0,0417 < 0,05	незасоленные	–	–
	Осень	0,062 > 0,05	слабозасоленные	2,5	Хлоридный

Исследуемый горизонт орошаемых участков, прилегающих к коллекторам ЛС-2 и МКЛ-7 в течение вегетационного периода остается незасоленным. Верхний горизонт орошаемых участков, прилегающих к коллекторам К-3 и ЦС (южный) в конце вегетационного (поливного) периода становится слабозасоленным, тип засоления сульфатно-хлоридный и хлоридный соответственно.

Для отдельных ионов приняты следующие пороги токсичности: %/ммоль на 100 г почвы: CO_3^{2-} - 0,001/0,03; HCO_3^- - 0,06/0,8; Cl^- - 0,01/0,3; SO_4^{2-} - 0,08/1,7 [84-91].

Изучение процентного содержания гидрокарбонат-, хлорид- и сульфат-ионов токсичных солей показало превышение порога токсичности в течение всего поливного периода на всех орошаемых участках по содержанию хлорид-иона, что позволяет прогнозировать преимущественно хлоридный тип засоления. Также отмечается увеличение %-ного содержания ионов натрия в конце поливного сезона на орошаемых участках, прилегающих к коллекторам К-3, МКЛ-7 и ЦС (южный), что свидетельствует о начале процесса осолонцевания и, как следствие, деградации почв (рисунок 26, 27) [81,82].

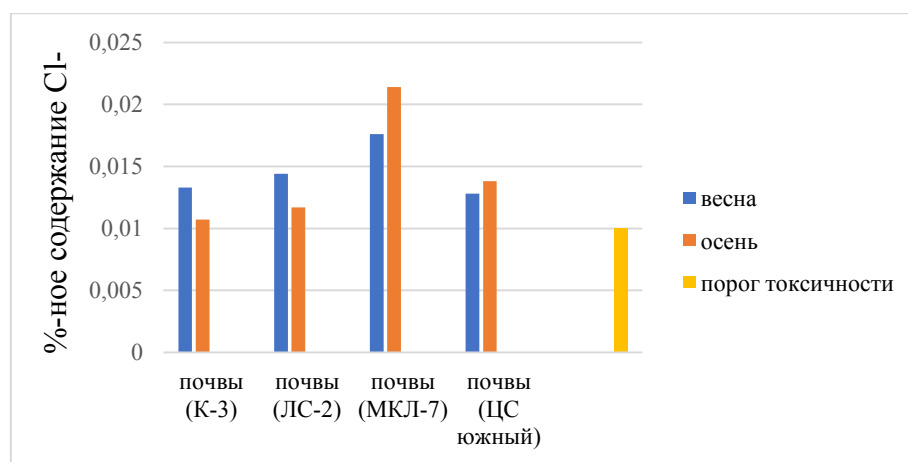


Рисунок 26 – Процентное содержание хлорид-иона токсичных солей в водной вытяжке в почвах исследуемых орошаемых участков

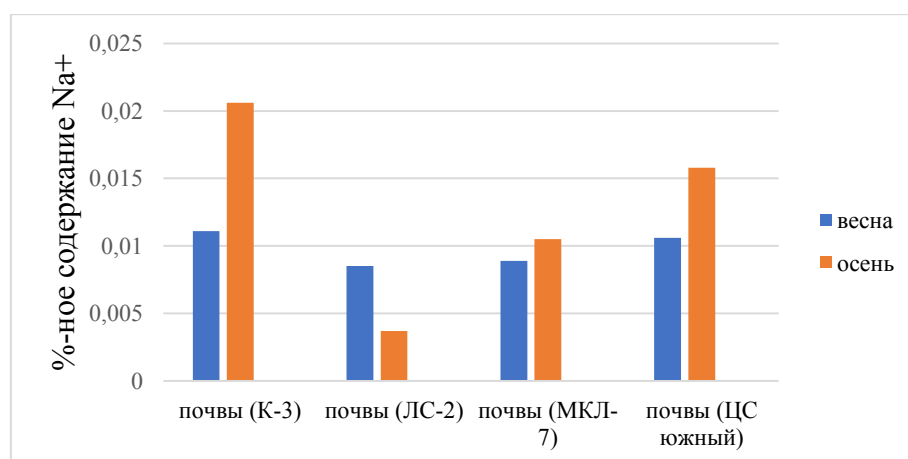


Рисунок 27 – Процентное содержание ионов натрия токсичных солей в водной вытяжке в почвах исследуемых орошаемых участков

Практически во всех почвенных растворах на исследуемых участках, за исключением участков, прилегающих к коллектору ЛС-2, содержатся токсичные для растений сода (NaHCO_3) и хлорид натрия (Приложение Г).

Содержание сульфат-ионов во всех почвах в верхнем горизонте ниже порога токсичности ($\ll 0,08\%$), следовательно, ионы SO_4^{2-} почвенного раствора не участвуют в формировании химического состава дренажного стока.

Выводы по главе 2

1. Результаты исследования проб коллекторно-дренажных вод, отобранных в 2019, 2021 годах, показали, что во вневегетационный период среднестатистическое значение минерализации во всех коллекторах превышало 1500 мг/дм^3 , что подтверждает питание дрен и коллекторов минерализованными грунтовыми водами, в течение вегетационного периода снижалось до 1000 мг/дм^3 и ниже. Аналогичная динамика наблюдалась для всех солеобразующих ионов. Факторами, обуславливающими установленное качество возвратных вод, являются дрены и открытые коллекторы в земляном русле при отсутствии гидроизоляции от почвогрунта в сочетании с промывными режимами орошения. В 1972 году значение минерализации находилось на уровне $1300 - 3500 \text{ мг/дм}^3$ не зависимо от вегетационного периода.

2. Статистическая обработка среднемноголетних данных гидрохимических показателей в фоновых створах приемников КДВ за 20-ти летний период показала регулярное превышение ПДК_{рх} содержания сульфатов в 2,5 – 5 раз, превышение натрия – в 1,7 – 3,4 раза, что обусловлено влиянием грунтовых вод сульфатного типа натриевой группы для исследуемой территории. Установлено, что высокое содержание сульфатов в природных водных объектах не зависит от сброса в них коллекторно-дренажного стока.

3. Изучен химизм солей орошаемых почв, прилегающих к коллекторам К-3, ЛС-2, МКЛ-7 и ЦС на начало и конец поливного сезона. Установлено превышение порога токсичности в течение всего поливного периода на всех орошаемых участках по содержанию хлорид-иона, что позволило прогнозировать преимущественно хлоридный тип засоления. Установлено увеличение %-ного содержание ионов натрия в конце поливного сезона на орошаемых участках, прилегающих к коллекторам К-3, МКЛ-7 и ЦС (южный), что свидетельствует о начале процесса осолонцевания.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДРЕНАЖНЫХ ВОД С ОРОШАЕМЫХ УЧАСТКОВ

3.1 Экологическая оценка качества дренажных вод

Для оценки качества воды в исследуемых коллекторах использовали коэффициент предельной загрязненности ($K_{пз}$), предложенный В. В. Шабановым [92]:

$$K_{пз} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{C_i}{ПДК_i} - 1, \quad (1)$$

где n – количество i -х веществ, принятых для оценки показателя;

C_i – концентрация i -го вещества;

$ПДК_i$ – предельно-допустимая концентрация i -го вещества.

В качестве ПДК химических веществ принимали $ПДК_{рх}$ [5].

Определение класса качества воды проводили на основе следующей классификации [92]: $K_{пз} = \leq -0,8$ – очень чистая; $K_{пз} = -0,8-0,0$ – чистая; $K_{пз} = 0,0-1,0$ – умеренно загрязненная; $K_{пз} = 1,0-3,0$ – загрязненная; $K_{пз} = 3,0-5,0$ – грязная; $K_{пз} = \geq 5,0$ – очень грязная.

Сводные данные по концентрациям веществ в местах выпусков ДСВ из коллекторов в исследуемые водные объекты в динамике представлены в таблице 18 [93].

Рассчитан коэффициент предельного загрязнения в исследуемых водных объектах в месте выпуска ДСВ за период 2009-2012 и за 2019 годы с целью учёта пространственно-временных процессов, повлиявших на изменение качества воды. Результаты расчетов представлены в таблице 19.

Таблица 18 – Концентрации загрязняющих веществ в месте выпуска ДСВ в водные объекты в динамике.

№ п/п	Показатели	Единицы измерений	Рассматриваемый период																			
			2009 г.				2010 г.				2011 г.				2012 г.				2019 г.			
			Ер. Бешенный	Р. Соленая	Ур. Колодезьки	Костылевский пруд	Ер. Бешенный	Р. Соленая	Ур. Колодезьки	Костылевский пруд	Ер. Бешенный	Р. Соленая	Ур. Колодезьки	Костылевский пруд	Ер. Бешенный	Р. Соленая	Ур. Колодезьки	Костылевский пруд	Ер. Бешенный	Р. Соленая	Ур. Колодезьки	Костылевский пруд
1	рН	ед. рН	7,66	7,81	7,79	7,91	7,71	7,80	7,8	7,96	7,70	7,83	7,73	7,84	7,70	7,73	7,76	7,9	7,60	7,73	7,68	7,83
2	Взвешенные вещества	мг/дм ³	5,8	6,5	5,8	5,4	5,6	5,5	5,4	5,1	5,1	5,5	5,6	5,3	6,4	5,6	6,0	5,7	5,07	4,93	4,95	4,95
3	Кальций	мг/дм ³	116	117	124	78,6	140	98,6	127	93,1	135	102	132	91,6	120	112	129	86,8	265,9	280,6	267,5	305,6
4	Магний	мг/дм ³	54,7	45,0	47,1	40,4	63,6	44,7	48,6	44,7	54,4	38,0	46,5	45,6	57,4	43,2	44,4	46,2	142,7	150,2	147,1	170,3
5	Натрий	мг/дм ³	350	255	226	124	441	228	223	149	418	219	234	150	366	253	216	151	377	328,8	375	392,7
6	Хлориды	мг/дм ³	395	201	148	83,3	496	196	152	86,9	465	168	156	89,4	422	205	150	88,6	243,4	248,2	250	278,3
7	Сульфаты	мг/дм ³	465	460	520	331	587	391	518	424	549	335	551	430	491	438	502	440	1680	1621	1685	1885
8	Минерализация	мг/дм ³	1543	1279	1228	758	1906	1082	1219	881	1781	1053	1261	907	1608	1212	1182	894	3128	3071	3170	3529
9	Фосфор фосфатов	мг/дм ³	0,09	0,1	0,08	0,07	0,12	0,12	0,096	0,03	0,09	0,12	0,08	0,02	0,11	0,12	0,09	0,02	0,01	0	0	0
10	Железо общее	мг/дм ³	0,15	0,11	0,19	0,12	0,13	0,11	0,13	0,08	0,14	0,11	0,14	0,08	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,08	0,06
11	Жесткость	мг/дм ³	10,4	9,6	10,1	7,37	12,3	8,63	10,5	8,43	11,1	8,27	10,5	8,4	10,8	9,2	10,2	8,15	25,19	26,35	25,3	29,3
12	БПК _{полн}	мгО/дм ³	1,78	2,02	2,10	2,21	2,45	2,90	2,32	2,57	2,24	2,82	2,52	2,68	2,41	3,08	3,42	2,74	2,80	3,04	3,05	2,63

Таблица 19 – Коэффициент предельной загрязненности воды в водных объектах в месте выпуска ДСВ [93].

Наименование водного объекта	Коэффициент предельной загрязненности, $K_{пз}$		Класс качества воды		Значение БПК _{полн} , мгО/дм ³	
	2009-2012	2019	2009-2012	2019	2009	2019
Ер. Бешеный	0,43	1,54	3, умеренно загрязненная	4, загрязненная	1,78	2,8
Р. Соленая	0,108	1,595	3, умеренно загрязненная	4 загрязненная	2,02	3,04
Ур. Колодезьки	0,178	1,765	3, умеренно загрязненная	4 загрязненная	2,10	3,05
Ур. Костылёвское	0,011	1,712	2, чистая	4, загрязненная	2,21	2,63

Необходимо отметить повсеместное повышение показателя БПК_{полн} с 2009 по 2019 год, что указывает на увеличение концентрации легко окисляемых органических соединений. При этом растет значение $K_{пз}$ за счет роста концентраций ионов, формирующих ионно-солевой состав вод. Следовательно, определяющим фактором качества природных вод в месте выпуска дренажно-сбросных вод, является химический состав последних.

Рассчитан коэффициент предельного загрязнения в исследуемых водных объектах в месте выпуска ДСВ, результаты представлены в таблице 20 [14,23,56,68,93].

Класс качества воды во всех коллекторах до начала поливного сезона характеризуется, как «загрязненный», в коллекторе К-3 практически, как «грязный». С пополнением системы водой из Цимлянского водохранилища и началом поливного сезона, значения большинства показателей снижались в 2 – 4 раза. Тем не менее, наблюдалось превышение ПДК_{рх} по SO_4^{2-} , Mg^{2+} и Na^+ [2].

Таблица 20 – Сводные данные по коэффициенту предельной загрязненности воды в открытых коллекторах [23]

Наименование коллектора	Время отбора проб	Значение коэффициента предельной загрязненности в коллекторах $K_{пз}$	Класс качества воды
1	2	3	4
К-3	апрель	2,42	загрязненная (4)
	май	0,28	умеренно грязная (3)
	сентябрь	-0,16	чистая (2)
	октябрь	1,61	загрязненная (4)

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4
ЛС-2	апрель	1,35	загрязненная (4)
	май	0,05	умеренно грязная (3)
	сентябрь	-0,17	чистая (2)
	октябрь	0,75	умеренно грязная (3)
МКЛ-7	апрель	1,52	загрязненная (4)
	май	0,36	умеренно грязная (3)
	сентябрь	0,45	умеренно грязная (3)
	октябрь	0,88	умеренно грязная (3)
ЦС	апрель	1,52	загрязненная (4)
	май	0,03	умеренно грязная (3)
	сентябрь	0,13	умеренно грязная (3)
	октябрь	1,02	загрязненная (4)
БГ-МС-4	апрель	1,47	загрязненная (4)
	май	-0,16	чистая (2)
	сентябрь	-0,21	чистая (2)
	октябрь	0,05	умеренно грязная (3)

На конец поливного сезона воду в исследуемых коллекторах можно отнести к «умеренно грязной» или границе «загрязненной» классам качества, следовательно, перед отведением в водный объект, либо при оборотном использовании на орошение, воду необходимо предварительно очистить.

3.2 Мелиоративная оценка качества дренажных вод

Согласно ГОСТ 17.1.2.03 [94] качество оросительной воды оценивают по агрономическим, экологическим и техническим критериям.

В первом случае качество определяют по отсутствию отрицательного влияния на сохранение и повышение плодородия почвы, предотвращению возникновения процессов засоления, осолонцевания, содообразования, положительному влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур и качество получаемой продукции [95]. Нами проведена комплексная оценка пригодности воды в исследуемых коллекторах для повторного использования на орошение по следующим показателям:

опасность засоления почв по минерализации воды (C , г/л), натриевое адсорбционное отношение (SAR), коэффициент ионного обмена И. Н. Антипова-Каратаева и Г. М. Кадер, коэффициенты осолонцевания А. М. Можейко и Г. К. Комир, степени опасности хлоридного засоления, магниевого осолонцевания и содообразования [94,96-98,142-144].

Оценку качества воды по степени опасности засоления почв по минерализации и осолонцевания по уровню SAR проводили по критериям, представленным в таблице 21 [94].

Уровень SAR рассчитывали по формуле (2):

$$SAR = \frac{1,4 \times [Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}} \quad (2)$$

где $[Na^+]$, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$ – концентрация ионов в поливной воде, мэкв/л.

Таблица 21 – Критерии оценки качества воды по опасности засоления

по минерализации и осолонцевания почв по уровню SAR [23]

Минерализация воды, г/л	Опасность засоления почв по C	Опасность осолонцевания почв по уровню SAR			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
менее 1	Низкая	8–10	15–18	22–26	более 26
1–2	Средняя	6–8	12–15	18–22	более 22
2–3	Высокая	4–6	9–12	14–18	более 18
более 3	Очень высокая	2–4	6–9	11–14	более 14

Коэффициент ионного обмена рассчитывали по методике И. Н. Антипова-Каратаева и Г. М. Кадер, согласно которой вода пригодна для орошения, если выполняется следующее условие:

$$\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{[Na^+]} \geq 0,23C$$

Коэффициенты осолонцевания рассчитывали по А. М. Можейко и Г. К. Комир, согласно которым вода может вызвать натриевое осолонцевание почв, если:

$$\frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}]} \geq 1 \text{ или } \frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} \geq 0,7$$

Оценку степеней опасности развития процессов хлоридного засоления, магниевого осолонцевания и содообразования проводили согласно почвенно-мелиоративной классификации оросительных воды, представленной в таблице 22.

Таблица 22 – Почвенно-мелиоративная классификация оросительной воды по степени опасности развития процессов засоления, осолонцевания и содообразования

Показатель	Класс качества воды			
	I	II	III	IV
Хлоридное засоление $[Cl^-]$	менее 0,2	2,0–4,0	4,0–10,0	более 10,0
Магниевое осолонцевание $\frac{[Mg^{2+}]}{[Ca^{2+}]}$	менее 1,0	1,0–1,5	1,5–2,5	более 2,5
Содообразование $([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$	менее 1,0	1,0–1,25	1,25–2,5	более 2,5

Расчетные значения по указанным показателям для воды в исследуемых коллекторах привели в таблице 23 [95].

Результаты мелиоративной оценки коллекторно-дренажных вод показали, что во всех исследуемых коллекторах использование воды на полив приведет к натриевому осолонцеванию и хлоридному засолению почв на протяжении всего вегетационного периода. Следовательно, перед использованием воды из открытых коллекторов для орошения необходима коррекция химического состава, прежде всего по хлорид-ионам и ионам натрия [72,145].

С точки зрения возможности развития процессов магниевого осолонцевания и содообразования воды не представляют опасности [72].

Для корректировки состава воды необходимо конструировать дренажные колодцы для сбора дренажных вод с орошаемых земель известной площади, позволяющие контролировать как качество, так и объемы отводимых дренажных вод, и локальные очистные сооружения (ЛОС), а также предусмотреть в случае необходимости возможность возврата очищенных дренажных вод в оросительную систему.

Таблица 23 – Показатели пригодности воды из открытых коллекторов для повторного использования на орошение

Показатель	До подачи воды в магистральный канал (дата отбора проб 02.04.19)					После подачи воды в магистральный канал (дата отбора проб 14.05.19)					После окончания поливного сезона (дата отбора проб 06.09.19)				
	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4
<i>C, минерализация, г/дм³</i>	<u>4,2</u>	<u>2,3</u>	<u>2,2</u>	<u>2,4</u>	<u>2,4</u>	<u>1,4</u>	<u>1,2</u>	<u>1,4</u>	<u>1,1</u>	0,8	0,8	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>	0,7	0,6
$\frac{1,4 \times [Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}}$	<u>12,7</u>	<u>7,6</u>	<u>4,9</u>	<u>6,6</u>	<u>4,0</u>	3,9	4,6	3,0	3,1	3,1	2,6	3,0	4,0	3,2	2,5
$\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{[Na^+]}$	13,5	8,3	11,5	11,1	12,8	7,0	5,5	7,6	7,4	4,7	4,8	6,8	6,9	3,6	3,7
$\frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}]}$	<u>3,3</u>	<u>2,5</u>	<u>1,4</u>	<u>1,8</u>	<u>1,1</u>	<u>1,5</u>	<u>2,1</u>	<u>1,2</u>	1,0	<u>1,6</u>	<u>1,1</u>	1,0	<u>1,3</u>	<u>1,7</u>	<u>1,3</u> ⁶⁹
$\frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$	<u>13,8</u>	<u>8,8</u>	<u>9,1</u>	<u>8,3</u>	<u>12,1</u>	<u>7,8</u>	<u>7,2</u>	<u>7,8</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	<u>3,8</u>	<u>3,0</u>	<u>3,9</u>	<u>4,2</u>	<u>3,3</u>
$[Cl^-]$	<u>34,7</u>	<u>10,3</u>	<u>7,5</u>	<u>9,9</u>	<u>5,1</u>	<u>9,4</u>	<u>4,4</u>	<u>4,5</u>	<u>4,7</u>	2,7	3,5	3,0	<u>4,0</u>	3,2	2,5
$\frac{[Mg^{2+}]}{[Ca^{2+}]}$	0,79	0,79	0,70	0,60	0,91	0,98	<u>1,01</u>	0,97	0,43	0,38	0,63	0,31	0,40	0,78	0,64
$([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$	-16,4	-7,0	-12,1	-9,9	-15,6	-7,7	-4,6	-7,9	-5,0	-2,9	-3,2	-3,7	-4,5	-2,0	-1,8

Примечание – подчеркнутые значения, указывают на опасность развития неблагоприятных процессов в почвах, в сельскохозяйственной продукции.

3.3 Способ эколого-гидрохимической комплексной оценки качества дренажных вод с орошаемых участков

Прежде чем разработать методику оценки качества дренажных вод с орошаемых участков были изучены научные и нормативные документы, содержащие методики экологической оценки водной среды.

Известен способ оценки экологического состояния водных объектов заключающийся в том, что в водном объекте устанавливают датчики температуры и кислорода, измеряют температуру воды в водном объекте, а также концентрацию растворенного кислорода, по значению которой по таблице растворимости кислорода определяют «равновесную» температуру, соответствующую 100% насыщению воды кислородом измеренной концентрации, после чего рассчитывают значение отклонения энтропии от ее равновесного состояния и по величине этого отклонения определяют экологическое состояние водных объектов [99].

Недостатком данного способа является отсутствие учета качественного химического состава загрязняющих веществ.

Известен способ определения экологического состояния пресноводных водоемов по критерию трофности, заключающийся в том, что в водоеме устанавливают датчики кислорода и рН, регистрируют активную реакцию среды рН, содержание кислорода, в качестве критерия трофности рассчитывают показатель трофности и определяют экологическое состояние водоема по значению критерия [99,100].

Недостаток известного способа заключается в том, что предложен способ определения только трофического статуса пресноводных водоемов, который является лишь одним из аспектов экологического состояния водных экосистем.

Известна методика оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [101]. Сущность методики заключается в расчете удельного комбинаторного индекса загрязненности воды, основанном на опреде-

лении превышения фактических концентраций показателей над их предельно допустимыми концентрациями для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) как наиболее строгих показателей качества водной среды, и повторяемости случаев превышений над ПДК_{рх} для всех загрязняющих веществ. Данная методика определяет обязательный и рекомендуемый перечни показателей, по которым осуществляется методика оценки.

Недостатком методики является отсутствие учета геохимического фона территории бассейна водного объекта, фоновое состояние водного объекта, отсутствие в обязательном перечне всех солеобразующих ионов, что актуально для оценки качества дренажных вод с орошаемых земель.

Известна методика оценки качества водных объектов с экологических позиций [102]. Сущность способа заключается в расчете комплексного показателя антропогенной нагрузки по базовым анализам-маркерам: рН, сухой остаток, взвешенные вещества, ХПК, БПК₅ азот аммония, азот нитритов, азот нитратов, фосфор фосфатов, железо общее, марганец общий, в основе которого лежит суммирование превышений фактических концентраций над санитарно-гигиеническими нормативами или предельно допустимыми для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Недостатком методики является отсутствие учета особенностей формирования дренажных вод с орошаемых земель, в частности отсутствие показателей основных солеобразующих ионов, показатель минерализации (сухой остаток) не нормируется для водных объектов рыбохозяйственного значения, показатель ХПК не определяется в природной водной среде.

Известна методика оценки загрязненности воды методом расчета интегрального коэффициента предельной загрязненности воды, равного сумме отношений фактических концентраций контролируемых гидрохимических показателей, выбранных на основании мониторинга качества водного объекта, к их ПДК_{рх} [92]. По наибольшему количеству сходных признаков и достигаемому при использовании результата, данный способ оценки принят нами за ближайший аналог.

Недостатком методики оценки является отсутствие учета фонового состояния водного объекта, сформировавшегося под действием геохимического фона территории бассейна водного объекта.

Предложен способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель заключается в расчете комплексного показателя качества дренажных вод ($K_{ДВ}$) как суммы интегральных показателей по приоритетным (репрезентативным) веществам, учитывающим геохимический фон территории бассейна водоприемника или его участка, возможность засоления, поступления остаточных количеств удобрений и пестицидов и критериев оценки качества ДВ, способствующих повышению достоверности оценки качества дренажных вод с орошаемых земель.

Техническим результатом предлагаемого способа является получение интегральной оценки качества дренажных вод с орошаемых земель исходя из ненанесения вреда водному объекту, в который осуществляется сброс дренажных вод.

В предложенном способе оценки качества дренажной воды с орошаемых земель рассчитывают сумму интегральных показателей, отвечающих за геохимический фон территории бассейна водного объекта или его участка (гидрокарбонаты, сульфаты, кальций, магний), засоление (натрий, хлориды), поступление остаточных количеств удобрений (ионы аммония, нитриты, нитраты, фосфор фосфатов, железо общее) и косвенно пестициды ($БПК_5$), при этом интегральный показатель, отвечающий за геохимический фон территории бассейна водного объекта или его участка, определяется как отношение фактических концентраций ионов в дренажной воде к их фоновым концентрациям в водоприемнике. В результате проведенной оценки по интегральным показателям появляется возможность оценить качество дренажной воды не только относительно требований федеральных нормативов предельно допустимых концентраций, но и учесть региональное фоновое состояние водного объекта, в который осуществляется отведение дренажной воды.

Суть способа эколого-гидрохимической оценки заключается в том, что рассчитывается комплексный показатель качества дренажных вод ($K_{ДВ}$) как сумма

интегральных показателей, отвечающих за: геохимический фон территории бассейна водного объекта или его участка – коэффициент превышения над фоном ($K_{зф}$), засоление – коэффициент токсичности (K_m), поступление остаточных количеств удобрений – коэффициент биогенности ($K_б$), косвенно пестицидов – коэффициент ($K_{орг}$). Размах значений $K_{ДВ}$ разбивается на 4 диапазона, где значения $K_{ДВ}$ менее 13,3 характеризуют дренажные воды как чистые; от 13,3, но менее 24,0 – умеренно-загрязненные; от 24,0, но менее 76,7 – грязные, а от 76,7 и более – очень грязные. Оценка качества дренажных вод с орошаемых земель определяется путем принадлежности полученного значения комплексного показателя качества дренажных вод $K_{ДВ}$ соответствующему диапазону [21].

Поскольку в формировании гидрохимического состава дренажных вод с орошаемых земель при поступлении в водоток участвует поверхностный сток и подземные воды, то учитывается геохимический фон территории бассейна водного объекта или его участка. Для этих целей для таких ионов, как гидрокарбонаты, сульфаты, кальций и магний предлагается определять превышение фактических концентраций в створе выпуска над их фоновыми значениями для каждого водовыпуска. Для ионов гидрокарбонатов, сульфатов, кальция, магния предлагается рассчитывать коэффициент превышения над фоном $K_{зф}$ по формуле:

$$K_{зф} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{C_i}{C_{фон}}, \quad (3)$$

где C_i – фактическая концентрация i -го иона в дренажной воде;

$C_{фон}$ – концентрация i -го иона в фоновом створе (500 м выше выпуска дренажной воды), мг/дм³.

Для токсичных ионов натрия и хлорид-ионов с точки зрения возможности засоления природной воды предлагается рассчитывать коэффициент токсичности K_m по формуле:

$$K_m = (0,008 \cdot C_{Na^+} + 0,003 \cdot C_{Cl^-}), \quad (4)$$

где C_{Na^+} – фактическая концентрация ионов натрия в мг/дм³,

C_{Cl^-} – фактическая концентрация хлорид-ионов в мг/дм³.

Гидрохимический состав дренажных вод зависит от качества оросительной воды, в связи с этим градация оценки по содержанию натрия и хлоридов определяется, основываясь на качестве оросительной воды. В таблице 24 приводятся концентрации хлорид-ионов и натрия в воде пригодной для полива и критерии оценки качества воды.

Таблица 24 – Критерии качества воды по содержанию ионов натрия и хлорид-ионов

Класс качества	Концентрация ионов Na ⁺ *	Концентрация ионов Cl ⁻ *	Всего	Диапазон K _m
1	$\frac{< 1,5}{< 34,5}$	$\frac{< 1,5}{< 53,3}$	< 87,8	< 0,5
2	$\frac{[1,5; 3,0]}{[34,5; 69)}$	$\frac{[1,5; 3,0]}{[53,3; 106,5)}$	[87,8; 175,5)	[0,5; 0,9)
3	$\frac{\geq 3,0}{\geq 69}$	$\frac{\geq 3,0}{\geq 106,5}$	≥ 175,5	≥ 0,9

* – в числителе концентрация выражена в мэкв/л, в знаменателе – в мг/дм³.

Для биогенов (ионов аммония, нитрит- и нитрат-ионов, фосфора фосфатов) и железа общего рассчитывается коэффициент биогенности (K_б), как среднее арифметическое превышение над их ПДК_{рх} по формуле:

$$K_b = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{ПДК_i} \quad (5)$$

По рекомендации [101] для биохимического потребления кислорода БПК₅ интегральный показатель рассчитывается, как отношение значения БПК₅ к норме.

Нормы по БПК₅:

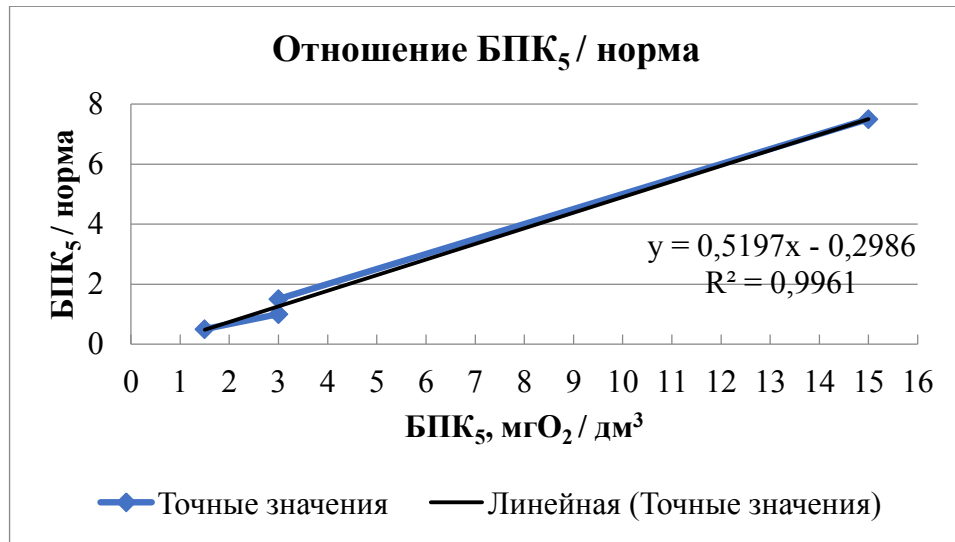
- норма 1 – более 15 мгО₂/л;
- норма 2 – 3-15 мгО₂/л;
- норма 3 – не более 3 мгО₂/л.

Поскольку для нормы 2 интервал значений достаточно большой, то получена аналитическая зависимость, представленная на рисунке 28, отношения (БПК₅/норма) от значения БПК₅:

$$y = 0,5197 \cdot x - 0,2986, \quad (6)$$

где y – K_{орг};

x – значение БПК₅.

Рисунок 28 – Отношение БПК₅ / норма

Коэффициент, показывающий содержание легкоокисляемых органических веществ ($K_{орг}$) в дренажных водах, косвенно указывающий на остаточные количества пестицидов, рассчитывается при помощи полученной аналитической зависимости (6):

$$K_{орг} = 0,5197 \cdot \text{БПК}_5 - 0,2986 \quad (7)$$

Комплексный показатель качества дренажных вод ($K_{ДВ}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ДВ} = K_{эф} + K_m + K_б + K_{орг}. \quad (8)$$

Критерии оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, сбрасываемых в природные водные объекты, даны в таблице 25.

Таблица 25 – Критерии оценки качества ДВ по предлагаемым показателям, классы и уровни качества воды

Уровень качества ДВ	Класс качества	$K_{эф}$	K_m	$K_б$	БПК ₅	$K_{орг}$	$K_{ДВ}$
Чистые	I	< 1	< 0,5	< 8	< 2	< 1,8	< 13,3
Умеренно загрязненные	II	[1; 1,5)	[0,5; 0,9)	[8; 16)	[2; 3)	[1,8; 2,6)	[13,3; 24)
Грязные	III	[1,5; 2)	[0,9; 1,3)	[16; 40)	[3; 10)	[2,6; 3,4)	[24; 76,7)
Очень грязные	IV	≥ 2	≥ 1,3	≥ 40	≥ 10	≥ 23,4	≥ 76,7

Данные протоколов испытаний гидрохимического состава дренажных вод в месте их выпуска в водные объекты предоставлены Геолого-мелиоративной партией ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».

Оценка качества дренажных вод с орошаемых земель в месте выпуска в малую (река Соленая, протяженность 35 км), среднюю (река Сал, протяженность 776 км) и крупную (река Дон, протяженность 1870 км) реки.

Дренажные воды из коллектора, сброс которых осуществляется в реку Соленая, характеризуются показателями, представленными в таблице 26.

Таблица 26 – Гидрохимический состав дренажных вод из коллектора в месте выпуска в р. Соленая и фоновые концентрации в водном объекте

Показатель	C фактическое в месте выпуска ДВ, мг/дм ³	$C_{фон}$, мг/ дм ³	ПДК _{рх} , мг/ дм ³
1	2	3	4
Хлориды	304,9	489,2	300
Сульфаты	806,4	873,6	100
Гидрокарбонаты	439,3	366,1	–
Кальций	164,3	168,3	180
Магний	77,8	92,4	40
Натрий	337,3	410,4	120
БПК ₅	1,97	1,97	2,1
Ион аммония	0,05	0,05	0,5
Нитрит-ион	0,02	0,02	0,08
Нитрат-ион	0,1	0,1	40
Фосфор фосфатов	0,06	0,06	0,05
Железо общее	0,13	0,1	0,1

Дренажные воды из коллектора, сброс которых осуществляется в реку Дон, характеризуются показателями, представленными в таблице 27.

Таблица 27 – Гидрохимический состав дренажных вод из коллектора в месте выпуска в р. Дон и фоновые концентрации в водном объекте

Показатель	C фактическое в месте выпуска ДВ, мг/дм ³	$C_{фон}$, мг/дм ³	ПДК _{рх} , мг/дм ³
1	2	3	4
Хлориды	524,7	127,6	300
Сульфаты	825,6	216	100
Гидрокарбонаты	439,3	231,9	–
Кальций	216,4	92,2	180
Магний	77,8	34,0	40
Натрий	468,2	20,3	120
БПК ₅	1,65	2,3	2,1

Продолжение таблицы 27

1	2	3	4
Ион аммония	0,05	0,05	0,5
Нитрит-ион	0,02	0,02	0,08
Нитрат-ион	0,1	0,3	40
Фосфор фосфатов	0,05	0,02	0,05
Железо общее	0,09	0,1	0,1

Дренажные воды из коллектора, сброс которых осуществляется в реку Сал, характеризуются показателями, представленными в таблице 28.

Таблица 28 – Гидрохимический состав дренажных вод из коллектора в месте выпуска в р. Сал и фоновые концентрации в водном объекте

Показатель	С фактическое в месте выпуска ДВ, мг/дм ³	Сфон, мг/дм ³	ПДКрх, мг/дм ³
1	2	3	4
Хлориды	375,8	687,7	300
Сульфаты	1689,6	873,6	100
Гидрокарбонаты	427,1	305,1	–
Кальций	332,7	196,4	180
Магний	87,6	107	40
Натрий	595,2	502,2	120
БПК ₅	1,97	1,97	2,1
Ион аммония	0,05	0,05	0,5
Нитрит-ион	0,02	0,038	0,08
Нитрат-ион	0,15	0,25	40
Фосфор фосфатов	0,06	0	0,05
Железо общее	0,1	0,19	0,1

Критерии оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, сбрасываемых в природные водные объекты, даны в таблице 29.

Таблица 29 – Критерии оценки качества ДВ по предлагаемым показателям для рек Сал, Соленая и Дон

Наименование водного объекта	$K_{зф}$	K_m	$K_{\bar{o}}$	$K_{орг}$	$K_{ДВ}$
Река Соленая	0,985	2,615	0,57	0,735	4,91
Река Дон	2,59	5,32	0,45	0,559	8,92
Река Сал	1,46	5,89	0,47	0,73	8,55

В соответствии с предложенными критериями дренажные воды реки Соленая характеризуются как «чистые», причем относительно фонового состояния по основным ионам природного водного объекта, куда осуществляется их отведение, дренажные воды также характеризуются как «чистые» ($K_{зф} < 1$).

В соответствии с предложенными критериями дренажные воды реки Дон характеризуются как «чистые», при этом относительно фонового состояния по основным ионам природного водного объекта, куда осуществляется их отведение, дренажные воды характеризуются как «очень грязные» ($K_{зф} > 2$).

Дренажные воды с орошаемых земель, отводимые в р. Сал характеризуются как «чистые», при этом относительно фонового состояния по основным ионам природного водного объекта, куда осуществляется их отведение, дренажные воды характеризуются как «умеренно-загрязненные».

Предложенный способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель отражает всю совокупность факторов, влияющих на их формирование, обеспечивая достоверную оценку их качества и может быть использован для решения задач классификации качества отводимых дренажных вод с орошаемых земель и охраны природных водоприемников.

Выводы по главе 3

1. Установлено превышение ПДК_{рх} по основным солеобразующими ионами SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} и Ca^{2+} , относящимся к четвертому классу опасности. Экологическая оценка качества коллекторно-дренажных вод проведена по коэффициенту предельной загрязненности $K_{пз}$. Качество воды по коэффициенту предельной загрязненности во всех коллекторах в течение вегетационного периода колеблется от чистой ($K_{пз} < 0$) до умеренно загрязненной ($K_{пз} < 1$) и загрязненной ($K_{пз} > 1$).

2. Оценка пригодности воды из открытых коллекторов для орошения показала необходимость коррекции ее химического состава по ионам натрия и хлоридам как на начало поливного сезона, так и по его окончанию. С точки зрения возможности развития процессов магниевого осолонцевания и содообразования качество возвратных вод не представляет опасности.

3. Разработан способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, заключающийся в том, что рассчитывается комплексный показатель качества дренажных вод, являющийся суммой интегрированных показателей: геохимического фона, токсичности, биогенности, а также содержания легкоокисляемых органических соединений. Размах значений комплексного показателя качества дренажных вод разбивается на 4 диапазона, в которых его значения менее 13,3 характеризуют дренажные воды как чистые, от 13,3, но менее 24,0 – умеренно-загрязненные, от 24,0, но менее 76,7 – грязные, а от 76,7 и более – очень грязные. Оценка качества дренажных вод с орошаемых земель определяется путем принадлежности полученного значения комплексного показателя качества дренажных вод соответствующему диапазону.

ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИКО-НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДХОДА ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧИСТНОГО СООРУЖЕНИЯ

4.1 Обоснование размещения локальных очистных сооружений

В настоящее время предложены различные технические решения по очистке дренажного стока, однако в целом их внедрение затруднено из-за высокой финансовой стоимости проектов, обусловленной колоссальными объемами стока. Альтернативным подходом представляется использование локальных сооружений очистки дренажного стока, поступающего с орошаемых участков относительно небольшой площади, с распределением экологических платежей между СХТП, деятельность которых приводит к образованию дренажного стока, и собственниками мелиоративных систем в лице региональных ФГБУ «Управление по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению». Так, согласно п. 2 приказа № 903 Минприроды России от 9 ноября 2020 г. «Об утверждении Порядка ведения собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных, в том числе дренажных, вод, их качества» физические и юридические лица обязаны вести учет объема дренажных вод и их качества. В настоящее время существует правовая коллизия в части порядка распределения ответственности между СХТП и собственниками мелиоративных систем, которые осуществляют отвод дренажных вод соответствующего качества с орошаемых участков СХТП [103-108].

Согласно п. 4 указанного приказа измерение объема отведения дренажных вод осуществляется на каждом выпуске средствами измерения расходов (уровней)

воды, которые устанавливаются на сооружениях для сброса дренажных вод. Местами сброса дренажных вод с орошаемых участков СХТП в коллекторную сеть являются водосборные сооружения – как правило, дренажные колодцы (рисунок 29), в которых временно аккумулируется возвратный сток с подвешенных к ним территорий. На наш взгляд именно дренажный колодец должен стать местом контроля и расхода, и качества дренажных вод, отводимых с территории конкретного СХТП, что полностью согласуется с п. 16 указанного приказа и служит основой для заключения договора на отведение дренажных вод. При этом требования к показателям качества дренажных вод так же согласовываются с положениями целого ряда основополагающих нормативно-правовых документов [103,108-111].



Рисунок 29 – Отводящая (переливная) труба дренажного колодца (ООО «Золотовское», Семикаракорский район Ростовской области) [67,103]

Отборы проб воды проводились в устье коллектора ЦС и в дренажном колодце ООО «Золотовское», воды из которого поступают в коллектор ЦС. Результаты гидрохимического анализа показали, что вода в дренажном колодце отличается более высоким качеством по сравнению с водами в коллекторе, тем не менее качество вод в обоих случаях не соответствовало нормативам для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Почвы Семикаракорского района Центральной орошаемой зоны Ростовской области представлены преимущественно черноземами обыкновенными, а также

аллювиально-луговыми почвами, характеризующимися высоким уровнем засоления. По широкой долине рек Дон, Сал и Западный Маныч и их притоков распространены своеобразные пойменные или «займищные» почвы: луговые и болотные, местами солончаковатые или же солонцеватые, а также аллювиальные почвы разного механического состава. Солонцеватые и солончаковатые почвы встречаются в связи с приближением к дневной поверхности соленосных пород или высокоминерализованных грунтовых вод. Гранулометрический состав почв тяжело-суглинистый (до 77 %), на долю солонцовых комплексов приходится около 20 % площади [23,70,104,112].

Коллекторно-дренажный сток формируется за счет смешения, поверхностного стока, инфильтрационного стока, образующегося в почве при поливе и поднимающихся грунтовых вод.

Таким образом, на формирование химического состава воды в коллекторе в разной мере на всем его протяжении (18,43 км) влияют множество факторов, как природного, так и антропогенного происхождения. Площадь прилегающей территории к коллектору ЦС составляет 5434 га, из них площадь, занятая в сельскохозяйственном производстве – около 1400 га, среди СХТП, помимо ООО «Золотовское», свою деятельность осуществляют ООО «Задонье», ООО «Прод-агро», ООО «Виноградарь», КФХ «Юзефов Н. Н.», ИП Коньшин В. Е. и др [23,103,104]. Химические показатели дренажных вод в открытом коллекторе ЦС и в дренажном колодце ООО «Золотовское» представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Химические показатели дренажных вод в открытом коллекторе ЦС и в дренажном колодце ООО «Золотовское»

Исследуемый показатель, ед. изм.	Значение исследуемого показателя				ПДК _{рх} [3]
	в коллекторе ЦС		в дренажном колодце		
	авг.	сен.	авг.	сен.	
1	2	3	4	5	6
рН, ед. рН	8,05	8,10	7,80	8,15	6,5–8,2
Сухой остаток, мг/дм ³	845,0	547,0	761,0	469,0	не норм.
Хлориды, мг/дм ³	160,0	95,5	142,0	90,3	300
Сульфаты, мг/дм ³	230,0	106,0	221,0	133,0	100
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	247,0	198,0	235,0	192,0	не норм.
Кальций, мг/дм ³	71,4	43,7	63,5	47,6	180

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6
Магний, мг/дм ³	28,9	26,5	31,3	26,4	40
Натрий (расчет), мг/дм ³	68,2	31,3	68,2	20,3	120
Жесткость, °Ж	5,94	4,36	5,74	4,55	не норм.
Нитриты, мг/дм ³	0,024	0,026	0,008	0,002	0,02
Нитраты, мг/дм ³	0,63	0,38	0,47	0,19	40
Фосфаты, мг/дм ³	0,49	< 0,05	0,28	< 0,05	0,5
Железо общее, мг/дм ³	< 0,03	0,03	0,04	0,09	0,1

Принимая во внимание указанные особенности, для решения задачи по очистке дренажного стока, образующегося в границах сельскохозяйственных угодий и аккумулирующихся в дренажном колодце, необходимо проведение модернизации колодца, заключающегося в регулировании качества возвратного стока, поступающего с орошаемого участка, с помощью локальных очистных сооружений, и последующего разбавления воды в коллекторно-дренажной сети. При этом необходимо учитывать размещение КДС с трассировкой дрен и закрытых коллекторов в границах участков, находящихся в пользовании конкретных СХТП.

4.2 Обобщение анализа результатов патентного поиска и конструктивные предложения

При разработке технического решения по локальной очистке дренажного стока были разработаны следующие критерии:

- необходимость сохранения экологического благополучия региона,
- максимально возможное сохранение водных ресурсов,
- простота и надежность технологического узла при эксплуатации.

При разработке были использованы:

- анализ опыта ранее проведенных исследований по очистке дренажного стока,

- обобщенные данные патентного поиска, содержащие отечественный и зарубежный опыт решения проблем очистки минерализованного дренажного стока,
- действующие нормативные и справочные материалы.

Патентный поиск был проведен по темам «Обработка воды, промышленных или бытовых сточных вод сорбцией (с использованием ионообмена)» МПК C02F 1/28 (2006.01) и «Осушение земель, в том числе для сельскохозяйственных целей» МПК E02B 13/00 (2006.01).

Задача разработки технического решения состояла в контроле СХТП качества дренажного стока с подконтрольных орошаемых участков за счет очистки от механических примесей и последующего регулируемого удаления растворенных солей.

Технический результат, который должен быть получен при осуществлении технического решения – повышение быстродействия регулирования очистки дренажных вод. В связи с этим, наибольшее внимание было уделено техническим решениям, с помощью которых возможно повысить именно эти показатели качества (таблица 31).

Таблица 31 – Сравнительная характеристика способов очистки минерализованного дренажного стока

Техническое решение	Принцип действия	Недостатки
1	2	3
Способ очистки дренажного стока и устройство для его осуществления. Пат. 2505486 РФ, МПК ⁸ C02F 1/28, E02B 13/00, A01G 25/00 [113];	Способ очистки дренажного стока, включающий пропускание его через фильтрующую кассету, установленную в русле сбросного канала рисовой ОС, причем фильтрующая кассета заполнена сорбентом, представляющим собой высушенные растения, отобранные из сорной растительности, произрастающей в упомянутом сбросном канале, которая предварительно скошена до уровня воды в сбросном канале в период перехода растений риса из одной фазы вегетации в другую [113].	Невозможность локального регулирования эффективности очистки дренажного стока в пределах коллекторно-дренажной сети ОС, а только в сбросном канале, отсутствие контроля качества воды в процессе очистки, необходимость предварительного выращивания высшей водной растительности до определенной фазы их развития для замены фильтрующей кассеты, неравномерность нагрузки потока по высоте фильтрующей кассеты, на второй и последующих кассетах часть сорбента выше уровня воды сбросного канала не используется [113].

Продолжение таблицы 31

1	2	3
Способ очистки дренажного стока и устройство для его осуществления. Пат. 2091538 РФ, МПК ⁶ E02B 11/00 [42]	Устройство для очистки дренажного стока, включающее последовательно расположенные фильтр для механического удаления примесей, волокнистый фильтр для вывода остатков пестицидов и фильтр для ионной очистки стока от солей, помещенный в корпус, выполненный в виде жесткого перфорированного патрона, при этом волокнистый фильтр в виде двуслойной оболочки уложен на его поверхность [42].	Трудности в эксплуатации за счет невозможности оперативной замены отработанного сорбента без демонтажа волокнистого фильтра и жесткого перфорированного патрона, отсутствие контроля качества воды в процессе очистки, низкая эффективность работы и надежность из-за накапливания наносов на входе фильтра механического удаления примесей, происходит кальматация [42].
Способ комплексной очистки дренажного стока и система для его осуществления. А. С. 4914795 СССР, МПК ⁸ E02B 11/00 [43]	Система для комплексной очистки дренажного стока, включающая водопроводящие и водоотводящие дренажные коллекторы, выполненные в виде деминерализационных галерей, начальные участки которых соединены с дренажными колодцами, оборудованными регуляторами уровня, причем дренажные колодцы выполнены в виде упакованных рулонов из волокнистого нетканого материала, сообщенные с ним участки деминерализации выполнены в виде контейнеров с катионитовыми и анионитовыми фильтрами [43].	Большая материалоемкость гидромеханического оборудования, отсутствие контроля качества воды в процессе очистки, громоздкость схемы деминерализации [43].

Принимая во внимание специфику практической необходимости, были сформулированы основные требования к техническому решению для локальной очистки дренажного стока и модернизации дренажного колодца на этой основе:

- снижение материалоемкости за счет уменьшения диаметра фильтрующего элемента, в том числе для доступности монтажа устройства для очистки на выходящем закрытом коллекторе (сопрягающей трубе) дренажного колодца в целях повышения надежности работы посредством накапливания наносов на дне корпуса дренажного колодца (исключая их попадание в фильтрующий элемент),

- обеспечение оперативной доступности к фильтрующему элементу устройства для возможности локального регулирования эффективности очистки и повышения качества технического обслуживания за счет применения картриджей со съемно-разъемными соединениями для фильтрующего элемента,

- расширение функциональных возможностей за счет использования емкости картриджей под разный материал (сорбирующий, фильтрационный и др.) для

достижения требуемой эффективности очистки посредством регулирования качества и площади фильтрации.

4.3 Определение объемов дренажного стока на территории Нижне-Донской ОС

Для расчета технических параметров локальных очистных сооружений очистки дренажного стока с применением ионообменных смол, прежде всего, необходимо знать расход коллекторно-дренажного стока.

На действующих системах КДС объем дренажного стока определяют замерами расходов на гидрометрических постах или путем изучения работы отдельных ее элементов. Первоначально же объем дренажного стока ($W_{\text{др. ст.}}$, м³/га) определяют по общему уравнению водного баланса [23,114-116]. Если существует дренаж, то предполагается, что изменение общего объема влагозапасов равно 0, тогда:

$$W_{\text{др. ст.}} = W_{\text{в}} + W_{\text{в фильтр.}} + W_{\text{осад. эф.}} - W_{\text{исп. в}} + W_{\text{пр. пов. в}} - W_{\text{от. пов. в}} + \\ + W_{\text{пр. гр. в}} - W_{\text{от. гр. в}} \pm W_{\text{гр. в - под. в}}, \quad (9)$$

где $W_{\text{в}}$ – объем водоподачи, мм;

$W_{\text{в фильтр.}}$ – потери воды на фильтрацию, м³/га;

$W_{\text{осад. эф.}}$ – величина эффективных осадков, мм;

$W_{\text{исп. в}}$ – суммарное испарение, мм;

$W_{\text{пр. пов. в}}$ и $W_{\text{от. пов. в}}$ – приток и отток поверхностных вод, м³/га;

$W_{\text{пр. гр. в}}$ и $W_{\text{от. гр. в}}$ – приток и отток грунтовых вод, м³/га;

$W_{\text{гр. в - под. в}}$ – результирующая водообмена грунтовых вод с подземными, м³/га.

Исходными данными для расчета объема дренажного стока на территории Нижне-Донской ОС являлись метеорологические характеристики района иссле-

дования (таблица 32). Среднемноголетние климатические характеристики за период 1966-2018 годы в Семикаракорском районе представлены в Приложение Д.

Таблица 32 – Метеорологические характеристики по Семикаракорскому району за вегетационный период [23]

Характеристика	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Средняя температура воздуха, °С	10,60	16,80	20,90	23,40	22,50	16,50
Средняя относительная влажность воздуха, %	66,00	63,00	63,00	59,00	57,00	65,00
Среднее количество осадков, мм	34,00	45,00	50,00	45,00	35,00	41,00
Величина эффективных осадков, мм	27,20	36,00	40,00	36,00	28,00	32,80
Суммарное испарение, мм	73,92	120,03	149,16	195,05	197,78	109,56
Дефицит водного баланса, мм	46,72	84,03	109,16	159,05	169,78	76,76

Объем водоподачи определяли из выражения:

$$W_{\text{в}} = \Delta W_{\text{в бал. деф.}} \times k_{\text{в исп.}}, \quad (10)$$

где $\Delta W_{\text{в бал. деф.}}$ – дефицит водного баланса, мм;

$k_{\text{в исп.}}$ – коэффициент использования воды на поле (при дождевании – 1,05–1,15; при поверхностном поливе – 1,15–1,25).

Дефицит водного баланса рассчитывали по формуле:

$$\Delta W_{\text{в бал. деф.}} = W_{\text{исп. в}} - W_{\text{осад. эф.}}, \quad (11)$$

где $W_{\text{исп. в}}$ – для месяцев вегетационного периода вычислялось согласно С. М. Алпатьеву по формуле:

$$W_{\text{исп. в}} = k_{\text{био.}} \times \sum \Delta P_{\text{возд. сут.}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{био.}}$ – биоклиматический коэффициент (для овощных севооборотов – 0,44, кормовых – 0,40, зерновых – 0,36;

$\Delta P_{\text{возд. сут.}}$ – среднесуточный дефицит влажности воздуха за месяц, мб;

$W_{\text{осад. эф.}}$ – величина эффективных осадков, мм, определяемая по формуле:

$$W_{\text{осад. эф.}} = W_{\text{осад.}} \times k_{\text{осад. исп.}}, \quad (13)$$

где $W_{\text{осад.}}$ – атмосферные осадки, мм;

$k_{\text{осад. исп.}}$ – коэффициент использования осадков, принимаемый равным 0,8;

$W_{\text{в фильтр.}}$ – определяемые по формуле:

$$W_{\text{в фильтр.}} = W_{\text{в}} \times \left(\frac{1}{k_{\text{пол. действ. сис.}}} - 1 \right), \quad (14)$$

где $k_{\text{пол. действ. сис.}}$ – коэффициент полезного действия системы (для открытой оросительной сети – 0,80–0,85; для закрытой оросительной сети – 0,90–0,95);

В условиях, когда $W_{\text{пр. пов. в}} - W_{\text{от. пов. в}} = 0$, $W_{\text{пр. гр. в}} - W_{\text{от. гр. в}} = 0$ и $W_{\text{гр. в - под. в}} = 0$, остается всего одна расходная статья – $W_{\text{исп. в.}}$. В этом случае: $W_{\text{др. ст.}} = W_{\text{в}} + W_{\text{в фильтр.}} + W_{\text{осад. эф.}} - W_{\text{исп. в.}}$

Модуль дренажного стока ($M_{\text{др. ст.}}$, л/с га) рассчитывали по формуле:

$$M_{\text{др. ст.}} = \frac{W_{\text{др. ст.}}}{86,4 \times t}, \quad (15)$$

где t – продолжительность расчетного периода, сут.

Результаты расчета объема и модуля дренажного стока по коллекторам на территории Нижне-Донской ОС представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Расчетные статьи водного баланса по исследуемым коллекторам

Статья водного баланса	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Объем водоподачи:						
мм	48,458	87,158	113,221	164,69	176,096	79,615
м ³ /га	484,58	871,58	1132,21	1649,69	1760,96	796,15
Фильтрационные потери оросительной воды, мм	20,768	37,350	48,519	70,701	75,169	34,621
Объем дренажного стока:						
мм	22,506	40,476	52,64	76,62	81,705	37,476
м ³ /га	225,06	404,76	526,4	766,2	817,05	374,76
Модуль дренажного стока, л/с га	0,0145	0,026	0,034	0,049	0,052	0,024

Согласно п. 3.17 ВСН 33-2.2.03-86 [116] пропускную способность дрен и коллекторов следует проверять по максимальному значению $M_{\text{др. ст.}}$, образуемому

при проведении влагозарядковых и промывных поливов. При этом значения расходов воды в дренах (коллекторах) привязаны к площади их обслуживания.

Учитывая площадь орошаемых участков, подвешенных к исследуемым коллекторам, рассчитали суточные и часовые расходы дренажного стока по месяцам за вегетационный период (таблица 34).

Таблица 34 – Расходы дренажного стока в исследуемых коллекторах в зависимости от подвешенной площади орошения

Расход дренажного стока	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	2	3	4	5	6	7
К-3 (протяженность – 11,19 км; подвешенная площадь орошения – 94 га)						
м ³ /час	полива нет	8,798	11,506	16,582	17,597	8,122
тыс. м ³ /сут.	полива нет	0,211	0,276	0,398	0,422	0,195
ЛС-2 (протяженность – 10,30 км; подвешенная площадь орошения – 375 га)						
м ³ /час	полива нет	35,1	45,9	66,15	70,2	32,4
тыс. м ³ /сут.	полива нет	0,842	1,102	1,588	1,685	0,778
МКЛ-7 (протяженность – 13,97 км; подвешенная площадь орошения – 1824 га)						
м ³ /час	полива нет	170,726	223,258	321,754	341,453	157,594
тыс. м ³ /сут.	полива нет	4,097	5,358	7,722	8,195	3,782
КСБ (протяженность – 6,13 км; подвешенная площадь орошения – 181 га)						
м ³ /час	полива нет	16,942	22,154	31,928	33,883	15,638
тыс. м ³ /сут.	полива нет	0,407	0,532	0,766	0,813	0,375
ЦС (протяженность – 18,43 км; подвешенная площадь орошения – 1404 га)						
м ³ /час	полива нет	131,414	171,85	247,666	262,829	121,306
тыс. м ³ /сут.	полива нет	3,154	4,124	5,944	6,308	2,911
БГ-МС-1 (протяженность – 1,13 км; подвешенная площадь орошения – 0 га)						
м ³ /час	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет
тыс. м ³ /сут.	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет	полива нет
БГ-МС-4 (протяженность – 20,4 км; подвешенная площадь орошения – 1173 га)						
м ³ /час	полива нет	109,793	143,575	206,917	219,586	101,347
тыс. м ³ /сут.	полива нет	2,635	3,446	4,966	5,27	2,432

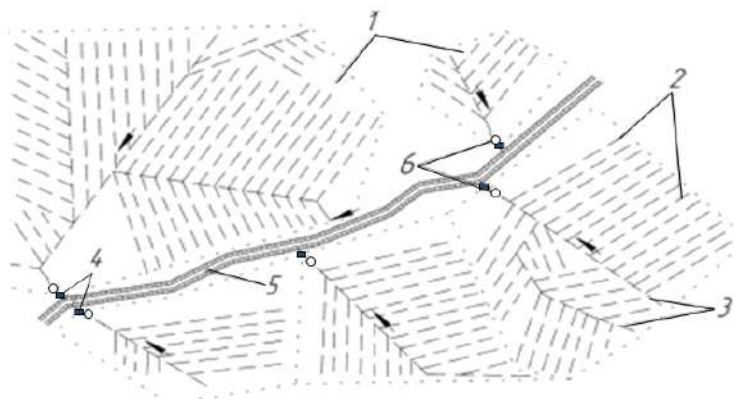
Максимальные расходы дренажного стока во всех коллекторах приходятся на август – в период интенсивного полива. Максимальный расход в коллекторе: К-3 составляет 17,597 м³/час или 0,422 тыс. м³/сут.; ЛС-2 – 70,2 м³/час или 1,685 тыс. м³/сут.; МКЛ-7 – 341,453 м³/час или 8,195 тыс. м³/сут.; КСБ – 33,883 м³/час или 0,813 тыс. м³/сут.; ЦС – 262,829 м³/час или 6,308 тыс. м³/сут.; БГ-МС-4 – 219,586 м³/час или 5,27 тыс. м³/сут.

Данные таблицы 34 указывают на существенные суммарные объемы дренажного стока, централизованная очистка которого, очевидно, потребует соответствующих значительных финансовых затрат. Следовательно, решением проблемы очистки дренажных вод обосновано является локальный подход с выделением участков известной площади, находящихся в собственности или аренде отдельных СХТП. Местом локальной очистки дренажного стока должен стать дренажный колодец. При этом предварительно необходимо провести разбивку дрен и коллекторов относительно орошаемых участков СХТП и магистрального коллектора.

На рисунке 30 приведен пример схемы орошаемого участка СХТП (1), с которого дрены (2) и коллекторы (3) отводят дренажный сток в дренажные колодцы (6), сопряженные с магистральным коллекторным каналом (5).

В местах сопряжения коллекторов с магистральным каналом необходимо предусмотреть сооружение дренажного колодца (6), если таковой отсутствует.

На устьях коллекторов необходимо предусмотреть установку локальных очистных сооружений (4) и узлов учета расхода дренажного стока. На открытых коллекторах водомерные узлы необходимо предусматривать при их впадении в коллектор высшего порядка и на границах контролируемых орошаемых участков (хозяйств).



1 – орошаемые участки; 2 – дрены; 3 – коллекторы;
4 – локальные очистные сооружения; 5 – магистральный коллектор; 6 – дренажные колодцы

Рисунок 30 – Пример схемы коллекторно-дренажной сети

оросительной системы [103]

В программе производственного экологического контроля необходимо проводить раз в месяц отбор и делать химический анализ проб воды. По результатам анализа воды и на основе данных учета расхода стока предоставлять сведения фактического сброса веществ, поступающих с дренажным стоком в магистральный коллектор.

Далее определили расход дренажного стока с орошаемых земель и оптимальную площадь водосбора исходя из экономических и технических соображений.

С учетом рассчитанного модуля дренажного стока по месяцам вегетационного периода для среднесезонных метеорологических характеристик по Семикаракорскому району, рассчитали расход дренажного стока ($\text{м}^3/\text{час}$ и $\text{м}^3/\text{сут.}$) для орошаемых участков площадью 5 – 50 га с шагом в 5 га (таблица 35).

Таблица 35 – Расход дренажного стока с орошаемых участков различной площади для условий Нижне-Донской оросительной системы Семикаракорского района

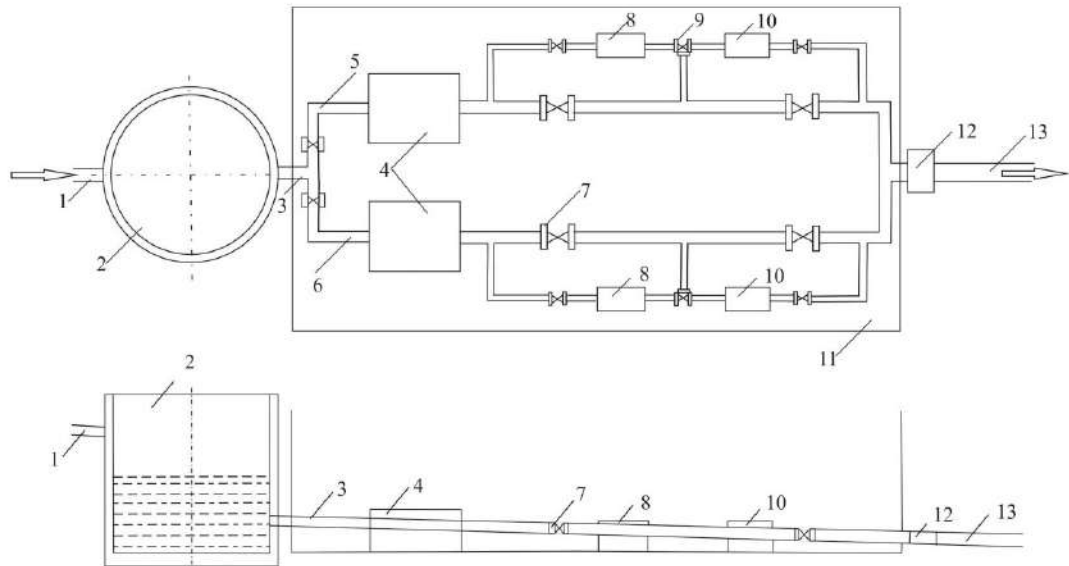
Площадь орошаемого участка, га	Расход дренажного стока по месяцам вегетационного периода									
	V		VI		VII		VIII		IX	
	$\text{м}^3/\text{час}$	$\text{м}^3/\text{сут.}$	$\text{м}^3/\text{час}$	$\text{м}^3/\text{сут.}$	$\text{м}^3/\text{час}$	$\text{м}^3/\text{сут.}$	$\text{м}^3/\text{час}$	$\text{м}^3/\text{сут.}$	$\text{м}^3/\text{час}$	$\text{м}^3/\text{сут.}$
5	0,47	11,28	0,612	14,69	0,88	21,17	0,936	22,46	0,432	10,37
10	0,94	22,56	1,224	29,38	1,76	42,34	1,87	44,93	0,86	20,74
15	1,40	33,6	1,84	44,06	2,65	63,50	2,81	67,39	1,29	31,10
20	1,87	44,93	2,45	58,75	3,53	84,67	3,74	89,86	1,73	41,47
25	2,34	56,16	3,06	73,44	4,41	105,84	4,68	112,32	2,16	51,84
30	2,81	67,39	3,67	88,13	5,29	127,01	5,62	134,78	2,59	62,21
35	3,28	78,62	4,28	102,82	6,174	148,176	6,55	157,25	3,02	72,57
40	3,74	89,86	4,89	117,50	7,06	169,34	7,49	179,71	3,46	82,94
45	4,212	101,088	5,51	132,19	7,94	190,51	8,42	202,176	3,89	93,31
50	4,68	112,32	6,12	146,88	8,82	211,68	9,36	224,64	4,32	103,68

Сравнивая данные таблиц 34 и 35 видно, что общий расход дренажного стока в коллекторах в 2 – 10 раз больше в зависимости от подвешенной площади орошаемого участка, чем с орошаемого участка ограниченной площади. Соответственно в последнем случае технический подход к очистке упрощается и кратно удешевляется.

Учитывая большую протяженность коллекторов (десятки км), огромные объемы отведения коллекторно-дренажных вод (млн м³) и сезонность сброса, оборудование устьев коллекторов мелиоративных систем очистными устройствами является экологически неоправданным и финансово необоснованным [117]. Решение вопроса очистки дренажных вод путем создание локальных очистных сооружений в местах сопряжения дренажной сети сельхозтоваропроизводителя и коллектора, находящегося на балансе ФГБУ Управления мелиорации, является актуальным и технически достижимым.

4.4 Описание технологической схемы локального сооружения для очистки дренажного стока

Предлагаемая схема локальных очистных сооружений состоит из нескольких модулей механической (4) и физико-химической очистки (8, 10), которые с помощью попеременного подключения отдельных блоков позволяют изменять технологию очистки в зависимости от исходного качества воды и требуемой степени ее очистки. В схеме очистки предусмотрены узел учёта расхода воды (12) и место отбора проб воды на химический анализ – дренажный колодец (2) и на выходе после очистки (13) (рисунок 31) [32,117,]. Для размещения локальных очистных сооружений необходимо установить площадку в бетонном лотке на выходе из дренажного колодца перед местом сопряжения с отводящим каналом.

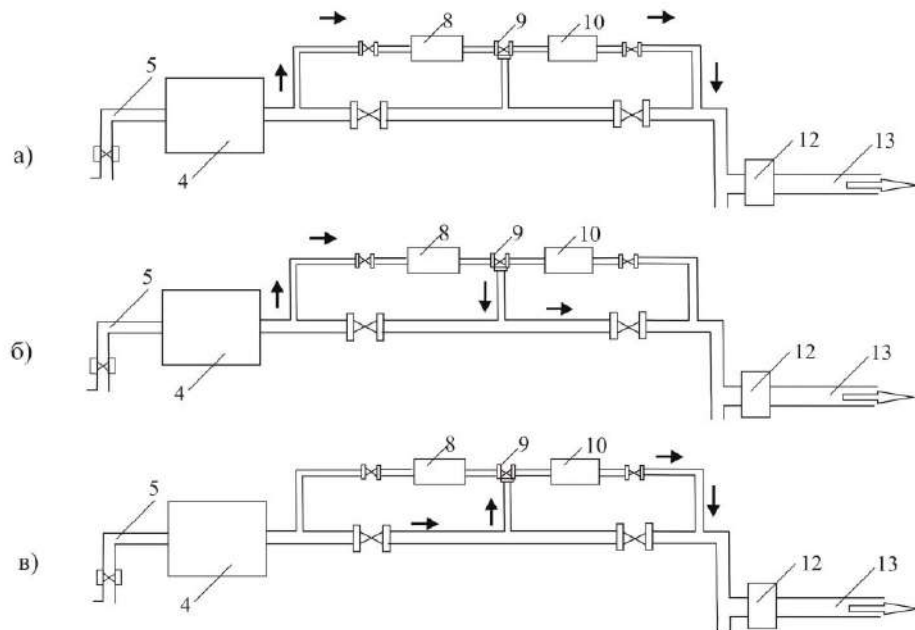


1 – подводящая труба; 2 – дренажный колодец; 3 – отводящая труба; 4 – блок механической очистки; 5, 6 – рабочая и резервная линии ЛОС; 7, 9 – трубопроводная запорная арматура (полнопроходная, трехходовая); 8 – фильтр, заполненный катионитом; 10 – фильтр, заполненный анионитом; 11 – площадка в бетонном лотке; 12 – узел учета расхода дренажного стока; 13 – труба, отводящая очищенную ДВ

Рисунок 31 – Технологическая схема очистного сооружения

Локальные очистные сооружения предусматривают две линии – рабочую и резервную, обеспечивающие непрерывность процесса очистки дренажного стока. В случае залпового загрязнения дренажного стока могут работать две линии одновременно. После отработки первой пары фильтров с ионитами (линия 5) дренажный сток направляют на вторую пару (линия 6), отработанные фильтры с ионитом извлекают на регенерацию. По окончании поливного сезона первая и вторая линии локальных очистных сооружений демонтируются и отправляются на консервацию в специально отведенное помещение.

Принцип работы ЛОС представлен несколькими вариантами движения воды по сооружению в зависимости от исходного качества дренажного стока (рисунок 32).



а) – через фильтры, заполненные катионитом и анионитом; б) – через фильтр, заполненный катионитом; в) – через фильтр, заполненный анионитом

Рисунок 32 – Варианты движения воды при очистке

Первый вариант. Гидрохимический анализ дренажного стока в колодце показал превышение ПДК_{рх} по катионам и анионам. Дренажный сток направляется на блок механической очистки (4) и по отводящей линии (5) на фильтр, заполненный катионитом (8) и фильтр, заполненный анионитом (10). Далее после полного цикла очистки вода направляется в отводящий канал (рисунок 5 вариант а).

Второй вариант. Гидрохимический анализ дренажного стока в колодце показал превышение ПДК_{рх} по катионам. Дренажный сток направляется на блок механической очистки (4) и по отводящей линии (5) на фильтр (8), заполненный катионитом. Далее после очистки от повышенного содержания катионов, минуя фильтр (10), вода направляется в отводящий канал. При этом в зависимости от превышения фактической концентрации по сравнению с ПДК_{рх} возможно смешение очищенного потока с неочищенным (рисунок 5 вариант б).

Третий вариант. Гидрохимический анализ дренажного стока в колодце показал превышение ПДК_{рх} по анионам. Дренажный сток направляется на блок механической очистки (4) и по отводящей линии (5) на фильтр (10), заполненный анионитом. После очистки от повышенного содержания анионов, минуя фильтр (8), вода

направляется в отводящий канал. Возможно смешение очищенного и неочищенного потоков (рисунок 5 вариант в).

Четвертый вариант. Если установлено, что отношение фактической концентрации ионов к его ПДК_{рх} не превышает трех, то часть дренажного стока направляют по линии (5), заполненными ионитами, а часть дренажного стока – минуя очистку. Вода, прошедшая очистку на катионите или анионите, либо одновременно через оба ионита, смешивается с исходной водой и направляется в отводящий канал.

Пятый вариант. Гидрохимические показатели дренажного стока в колодце соответствуют предельно допустимой концентрации веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). Дренажный сток направляется на блок механической очистки (4) и по отводящей линии вода направляется в коллекторный канал без очистки.

Направление движение воды регулируется запорной арматурой, установленной на всех линиях сооружений.

В зависимости от качества исходной дренажной воды предлагается ее смешение с очищенной с целью разбавления в зависимости от превышения в ней фактической концентрации ионов по сравнению с ПДК. Поскольку лимитирующим ионом являлся сульфат-ион, то при расчетах разбавления ориентировались на его концентрацию. Соотношение разбавления исходной и очищенной вод представлены в таблице 36

Таблица 36 – Соотношение разбавления исходной и очищенной вод в зависимости от отношения $C_i/\text{ПДК}_i$

Условие отношения $C_i/\text{ПДК}_i$	Соотношение разбавления исходной (ИВ) и очищенной вод (ОВ)
$1 < C_i/\text{ПДК}_i \leq 1,3$	$1V_{\text{ОВ}} : 2V_{\text{ИВ}}$
$1,3 < C_i/\text{ПДК}_i \leq 1,5$	$1V_{\text{ОВ}} : 1,5V_{\text{ИВ}}$
$1,5 < C_i/\text{ПДК}_i \leq 2,0$	$1,5V_{\text{ОВ}} : 1V_{\text{ИВ}}$
$2 < C_i/\text{ПДК}_i \leq 3,0$	$4V_{\text{ОВ}} : 1V_{\text{ИВ}}$

Блок-схема очистки дренажных вод на локальных очистных сооружениях представлена на рисунке 33.

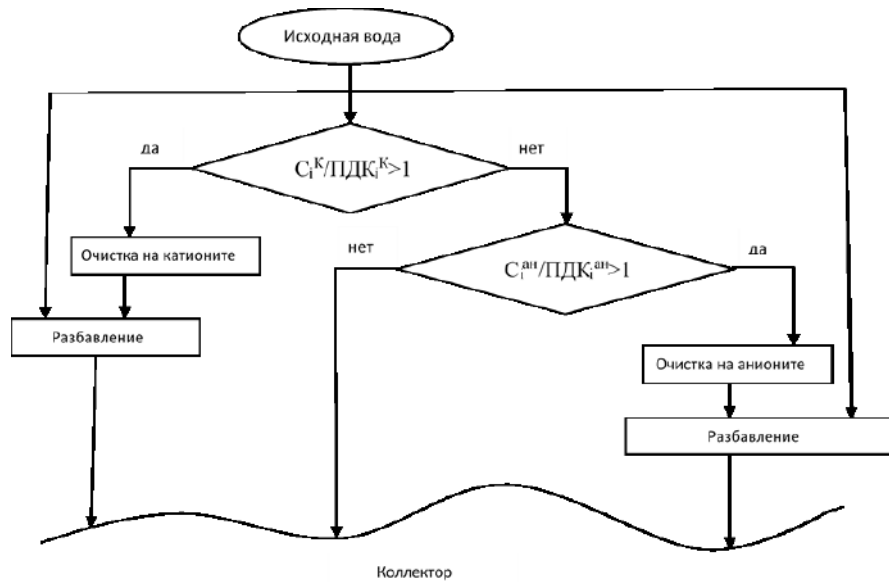


Рисунок 33– Блок-схема очистки дренажных вод

Предложенная технология предусматривает вариативность очистки дренажного стока в зависимости от его исходного качества, возможность разбавления дренажного стока, способствующего дополнительному снижению затрат на фильтрующие загрузки.

4.5 Результаты исследования очистки воды из открытого коллектора и дренажного колодца методом ионного обмена

В настоящее время основными способами деминерализации воды являются обратный осмос, электродиализ и фильтрование через ионообменные смолы.

Предлагаемый процесс очистки дренажного стока основывается на сочетании методов механической и ионообменной очистки. Основными стадиями технологического процесса являются:

- аккумулярование дренажного стока,
- адсорбция на фильтре механической очистки,
- абсорбция на ионообменных смолах.

В качестве фильтрующего материала предлагается использование промышленно выпускаемых отечественных образцов ионообменных смол: катионита КУ-2-8 [118] и анионита АВ-17-8 [119], технические характеристики которых представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Технические характеристики ионообменных смол КУ-2-8 и АВ-17-8

Характеристика	КУ-2-8	АВ-17-8
1	2	3
Внешний вид	сферические зерна от желтого до темно-коричневого цвета	сферические зерна от белого до темно-коричневого цвета
Гранулометрический состав: – размер зерен, мм – объемная доля рабочей фракции, не менее, % – эффективный размер зерен – коэффициент однородности, не более	0,315–1,250 96 0,40–0,55 1,7	0,315–1,250 95–93 0,40–0,70 1,7–1,8
Массовая доля влаги, %	48–54	35–50
Удельный объем, см ³ /г в Н ⁺ / ОН ⁻ -форме, не более	2,6	не определяют
Полная статическая обменная емкость, ммоль/см ³ (мг-экв/см ³), не менее	1,90	1,00–1,15
Гарантия от производителя (истирание зерен), лет	5	8

Объектами исследований являлись коллекторный канал ЦС и дренажный колодец ООО «Золотовское», из которого дренажный сток поступает в коллектор ЦС, находящиеся в Семикаракорском районе Ростовской области. Натурными исследованиями установлено, что в дренажном колодце концентрация веществ в воде на 25 – 30 % меньше, чем в коллекторе, в который отводится дренажный сток (таблица 38) [117].

Таблица 38 – Химические показатели дренажных вод в открытом коллекторе ЦС и в дренажном колодце ООО «Золотовское»

Показатель	Ед. изм.	Значение исследуемого показателя		ПДК _{рх}
		в коллекторе ЦС	в дренажном колодце	
1	2	3	4	5
рН	ед. рН	8,05	7,80	6,5–8,2
Сухой остаток	мг/дм ³	1129	469,0	не норм.
Хлориды	мг/дм ³	167	90,3	300
Сульфаты	мг/дм ³	319	133,0	100
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	307	192,0	не норм.

Продолжение таблицы 38

1	2	3	4	5
Кальций	мг/дм ³	140	47,6	180
Магний	мг/дм ³	36,5	26,4	40
Натрий (расчет)	мг/дм ³	159,5	20,3	120
Жесткость	°Ж	10,0	4,55	не норм.
Нитриты	мг/дм ³	0,024	0,002	0,02
Нитраты	мг/дм ³	0,63	0,19	40
Фосфаты	мг/дм ³	0,49	< 0,05	0,5
Железо общее	мг/дм ³	0,14	0,09	0,1

Данные химического анализа воды в дренажном колодце показали, что СХТП ООО «Золотовское» в результате сельскохозяйственной деятельности не привносит в дренажный сток биогенные загрязнения. Незначительное превышение наблюдается по сульфатам (1,3ПДК).

Для оценки эффективности предлагаемой технологии очистки в лабораторных условиях вода из открытого коллектора ЦС и исследуемого дренажного колодца была пропущена через колонки, заполненные последовательно ионообменными смолами КУ-2-8 и АВ-17-8.

Результаты очистки воды из коллектора ЦС, представлены в таблице 39.

Таблица 39 – Результаты количественного химического анализа воды из коллектора ЦС до и после механической очистки и методом ионного обмена [117]

Исследуемый показатель	Единица измерения	До очистки	После очистки
рН	ед. рН	8,05	7,50
Взвешенные вещества	мг/дм ³	15,3	1,2
Сухой остаток	мг/дм ³	1129	296,54
Хлориды	мг/дм ³	167	50,60
Сульфаты	мг/дм ³	319	96,66
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	307	50,0
Кальций	мг/дм ³	140	36,6
Магний	мг/дм ³	36,5	9,48
Натрий + калий (расчет)	мг/дм ³	159,5	53,2
Жесткость	°Ж	10,0	2,62

Результаты испытаний показали высокую эффективность очистки минерализованной воды на ионообменных смолах. Минерализация снизилась примерно в 4 раза, за счет снижения концентрации гидрокарбонатов в 6 раз, хлоридов и сульфатов в 3 раза, кальция в 4 раза, натрия – в 3 раза [145].

Натурными исследованиями установлен химический состав дренажных вод в дренажном колодце ООО «Золотовское» в течение вегетационного периода (таблица 40).

Таблица 40 – Химические показатели дренажных вод в дренажном колодце

Исследуемый показатель, ед. изм.	Значение исследуемого показателя по дате отбора проб воды			
	01.06.21	01.07.21	17.08.21	23.09.21
1	2	3	4	5
рН, ед. рН	8,00	8,00	8,15	8,10
Сухой остаток, мг/дм ³	846	776	547	469
Хлориды, мг/дм ³	100,2	92,7	95,5	90,3
Сульфаты, мг/дм ³	405,3	331,5	106,0	103,0
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	185,7	178,0	198,0	168,0
Кальций, мг/дм ³	44,8	45,3	43,7	42,1
Магний, мг/дм ³	31,1	30,2	26,5	24,6
Натрий (расчет), мг/дм ³	78,9	98,3	77,3	41,0
Нитриты, мг/дм ³	0,007	0,008	0,026	0,002
Нитраты, мг/дм ³	0,41	0,41	0,38	0,19
Фосфаты, мг/дм ³	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Железо общее, мг/дм ³	0,03	0,03	0,03	0,09

Установлено, что значения исследуемых показателей в августе и сентябре соответствуют нормативам ПДК_{рх} и очистка не требуется, в июне и июле, необходима корректировка по анионам.

Результаты очистки воды из дренажного колодца, представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Результаты количественного химического анализа воды

из дренажного колодца до и после механической очистки и методом ионного обмена

Исследуемый показатель	Концентрация показателя в исходной воде		Концентрация показателя очищенная воде	
	01.06.21	01.07.21	01.06.21	01.07.21
Хлориды, мг/дм ³	100,2	92,7	30,36	30,9
Сульфаты, мг/дм ³	405,3	331,5	101,3	100,5
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	185,7	178,0	53	50
Кальций, мг/дм ³	44,8	45,3	9,93	10,52
Магний, мг/дм ³	31,1	30,2	11,48	11,73
Натрий (расчет), мг/дм ³	78,9	98,3	15,20	19,87
Жесткость	4,83	4,78	1,45	1,51

Сравнительный анализ гидрохимических показателей в воде коллектора и дренажном колодце с экономической точки зрения также указывает на целесообразность очистки дренажного стока сразу после колодца.

4.6 Расчет материального баланса ионитовых фильтров при очистке воды из открытого коллектора и дренажного колодца

На основе результатов испытаний очистки воды фильтрованием через ионно-обменные смолы [120, 121,146] с учетом технических характеристик марок ионообменных смол (таблица 37) провели расчет материального баланса для двух случаев.

1. **Очистка воды из открытого коллектора.** Натурными исследованиями установлено, что вода из открытого коллектора требует очистки от избыточных количеств и катионов и анионов. Соответственно проведем расчет материального баланса катионитового и анионитового фильтров (таблица 42, 43).

Таблица 42 – Материальный баланс Н-катионитового фильтра

Ион	Исходная вода		Очищенная вода	
	ммоль/ дм ³	мг/дм ³	ммоль/ дм ³	мг/дм ³
Cl ⁻	4,7	167	4,7	167
SO ₄ ²⁻	6,6	319	6,6	319
HCO ₃ ⁻	5,03	307	5,03	307
Ca ²⁺	7,0	140	1,83	36,6
Mg ²⁺	3,04	36,5	0,79	9,48
Na ⁺	6,9	159,5	2,31	53,2
H ⁺	–	–	12,01	12,01

Суммарная исходная эквивалентная концентрация катионов ($C_{исхк}$) составила 16,94 ммоль/ дм³, после очистки $C_{конк}$ – 4,93 ммоль/ дм³. $\Delta C_k = 12,01$ ммоль/ дм³.

Количество ионов H⁺, необходимое для замещения катионов Ca²⁺, Mg²⁺ и Na⁺, составило 12,01 ммоль/ дм³.

Материальный баланс ОН-анионитового фильтра представлен в таблице 43.

Исходная эквивалентная концентрация анионов ($C_{исха}$) составила 16,33 ммоль/л, после очистки $C_{кон а}$ – 3,51 ммоль/ дм³. $\Delta C_a = 12,82$ ммоль/ дм³.

Количество ионов OH⁻, необходимое для замещения анионов Cl⁻, SO₄²⁻ и HCO₃⁻, составило 12,82 ммоль/ дм³.

Таблица 43 – Материальный баланс ОН-анионитового фильтра

Ион	Исходная вода		Очищенная вода	
	ммоль/ дм ³	мг/ дм ³	ммоль/ дм ³	мг/ дм ³
Cl ⁻	4,7	167	1,42	50,60
SO ₄ ²⁻	6,6	319	2,01	96,66
HCO ₃ ⁻	5,03	307	0,08	5,0
Ca ²⁺	1,83	36,6	1,83	36,6
Mg ²⁺	0,79	9,48	0,79	9,48
Na ⁺	2,31	53,2	2,31	53,2
OH ⁻	–	–	12,82	217,94

С учетом полной статической обменной емкости ионитов определили производительность 1 м³ катионита и анионита (Q_{кат} и Q_{ан}) при очистке воды из коллектора:

$$Q_{\text{кат}} = \frac{1900 \text{ ммоль/дм}^3}{12,01 \text{ ммоль/дм}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 = 158,2 \text{ м}^3$$

$$Q_{\text{ан}} = \frac{1150 \text{ ммоль/дм}^3}{12,82 \text{ ммоль/дм}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 = 89,7 \text{ м}^3$$

2. Очистка воды из дренажного колодца. Натурными исследованиями установлено, что очистка требуется от избыточного количества анионов, соответственно проведем расчет материального баланса ОН-анионитового фильтра (таблица 44). Для повышения эффективности работы анионитового фильтра целесообразно перед ним разместить декарбонизатор.

Таблица 44 – Материальный баланс ОН-анионитового фильтра при очистке воды из дренажного колодца

Ион	Исходная вода				Очищенная вода			
	01.06.21		01.07.21		01.06.21		01.07.21	
	ммоль/ дм ³	мг/ дм ³	ммоль/ дм ³	мг/д дм ³	ммоль/ дм ³	мг/ дм ³	ммоль/ дм ³	мг/ дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cl ⁻	2,82	100,2	2,61	92,7	0,85	30,36	0,87	30,9
SO ₄ ²⁻	8,44	405,3	6,91	331,5	2,11	101,3	2,09	100,5
HCO ₃ ⁻	0,08	5,0	0,08	5,0	н/о	–	н/о	–
Ca ²⁺	2,24	44,8	2,26	45,3	2,24	9,93	2,26	10,52
Mg ²⁺	2,59	31,1	2,52	30,2	2,59	11,48	2,52	11,73
Na ⁺	3,43	78,9	4,27	98,3	3,43	15,20	4,27	19,87
OH ⁻	–	–	–	–	12,65	56,07	10,99	51,15

Исходная эквивалентная концентрация анионов в начале июня составила 11,34 ммоль/ дм³, после очистки – 2,96 ммоль/ дм³, ΔСа = 8,38 ммоль/ дм³, в июле – 9,6 ммоль/ дм³, после очистки – 2,96 ммоль/ дм³, ΔСа = 6,64 ммоль/ дм³. Таким

образом, количество ионов OH^- , необходимое для замещения анионов Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- , составило 8,38 и 6,64 ммоль/дм³, соответственно.

Производительность 1 м³ анионита ($Q_{\text{ан}}$) при очистке воды из дренажного колодца для июня и июля соответственно равны:

$$Q_{\text{ан}}^{\text{VI}} = \frac{1150 \text{ ммоль/дм}^3}{8.38 \text{ ммоль/дм}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 = 137,2 \text{ м}^3$$

$$Q_{\text{ан}}^{\text{VII}} = \frac{1150 \text{ ммоль/дм}^3}{6.64 \text{ ммоль/дм}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 = 173,2 \text{ м}^3$$

Таким образом, на очистку дренажной воды из колодца требуется только анионит, при этом производительность 1 м³ анионита выше в 1,5 – 2 раза, чем при очистке воды из открытого коллектора. Локальный подход к очистке позволит снизить материалоемкость процесса и габаритные размеры сооружения.

4.7 Описание и расчет параметров сооружения для очистки дренажного стока

Исходя из натуральных исследований качества воды в дренажном колодце в течение вегетационного периода установлено, что наихудшее качество вод отмечается в июне – июле месяцах, соответственно последующие расчеты фильтров проведем на максимальный расход для этих месяцев 6,12 и 8,82 м³/час.

Стандартные габаритные размеры ионитовых фильтров составляют диаметр – 1,5 м, высота (длина) – 2,8 м, следовательно, объем картриджа составит 5,024 м³. Рассчитали производительность анионита данного объема загрузки с учетом ранее рассчитанной производительности 1 м³ анионита: $Q_{\text{ан}}^{\text{VI}} = 137,2 \cdot 5,024 = 689,3 \text{ м}^3$, $Q_{\text{ан}}^{\text{VII}} = 173,2 \cdot 5,024 = 870,2 \text{ м}^3$. Определили длительность фильтроцикла между регенерациями с учетом работы двух фильтров: $\tau^{\text{VI}} = \frac{689,3 \cdot 2}{6,12} = 225,3 \text{ ч}$, $\tau^{\text{VII}} =$

$\frac{870,2 \cdot 2}{8,82} = 197,32$ ч. То есть время работы между регенерациями составляет 8 – 9 суток.

Расчет проведен из условия очистки всего объема дренажного стока, при разбавлении дренажного стока 1:1, 1:2 и 1:3 объемы загрузок уменьшаются соответственно в 2, 3 и 4 раза.

Определили объем загрузки ионитов (катионита и анионита) $V_{\text{карт}}$ в зависимости от количества адсорбируемых ионов, поступающих с дренажными водами, исходя из производительности 10 м³/час или 240 м³/сут для того, чтобы длительность фильтроцикла составляла сутки по формуле:

$$V_{\text{ДВ}} = \frac{V_{\text{карт.}} \times E_{\text{раб.}}}{\Delta C}, \quad (16)$$

где $V_{\text{ДВ}}$ – объем очищаемых дренажных вод, л;

$E_{\text{раб.}}$ – полная статическая обменная емкость ионита, ммоль/ дм³;

ΔC – концентрация адсорбируемых ионов, ммоль/ дм³.

Зависимости $V_{\text{карт}}$ от количества адсорбируемых катионов и анионов (ΔC) при различном расходе дренажного стока представлены на рисунке 34 – 36.

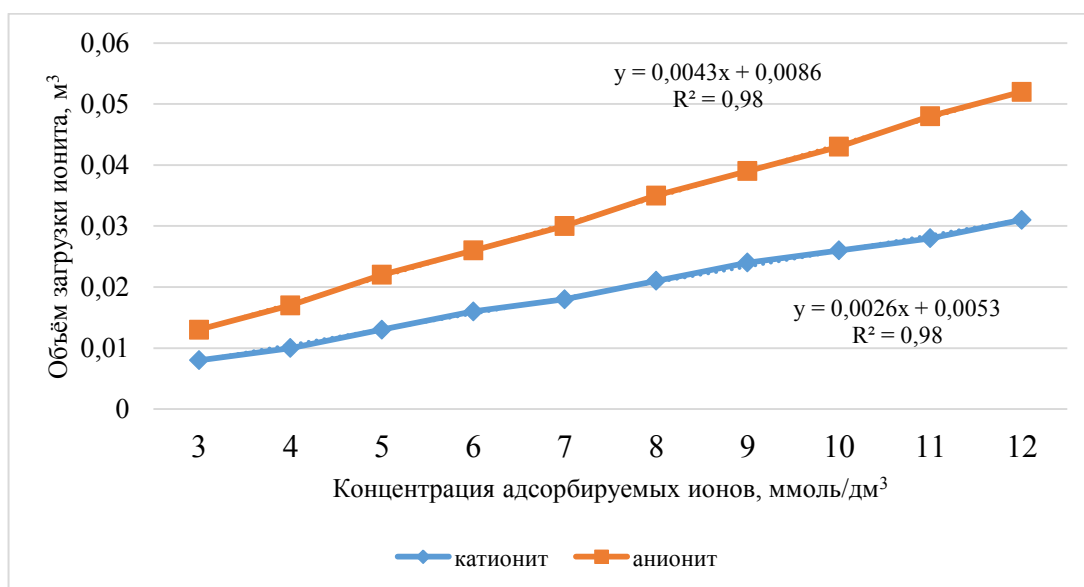


Рисунок 34 – Зависимость объема загрузки ионита от количества адсорбируемых ионов при расходе дренажного стока 5 м³/час

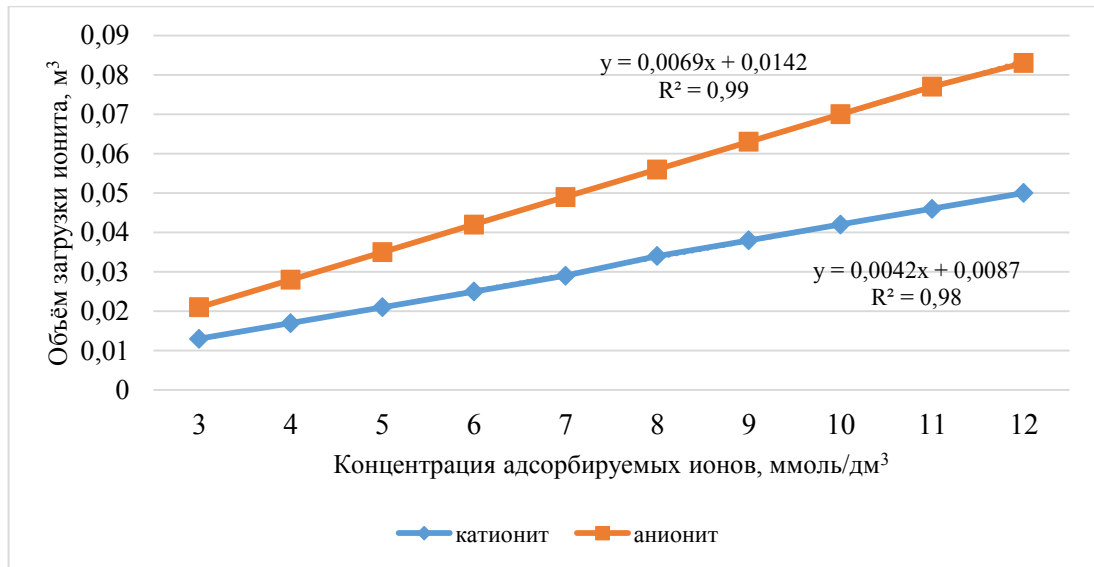


Рисунок 35 – Зависимость объема загрузки ионита от количества адсорбируемых ионов при расходе дренажного стока 8 м³/час

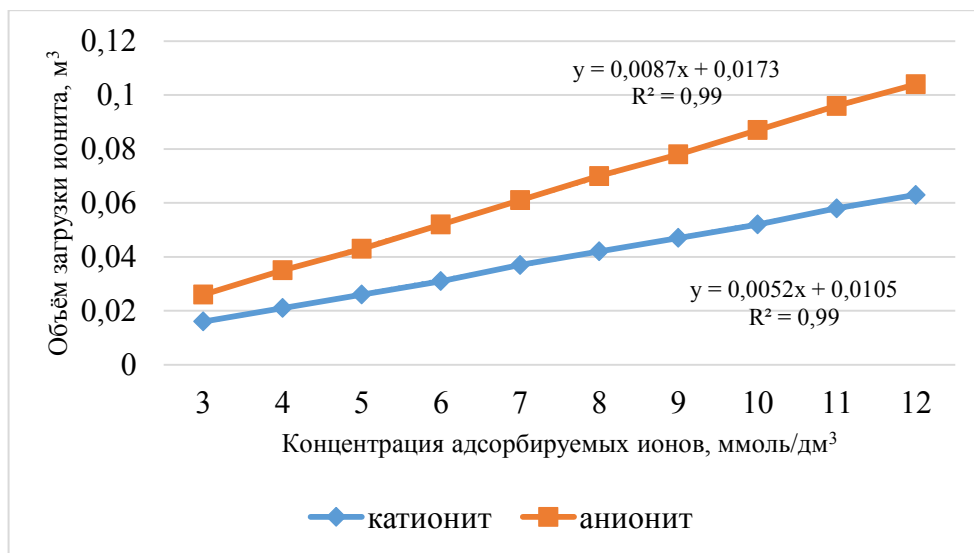


Рисунок 36 – Зависимость объема загрузки ионита от количества адсорбируемых ионов при расходе дренажного стока 10 м³/час

Полученные зависимости позволят рассчитать объем загрузки, а также количество фильтров и их габаритные размеры в зависимости от концентрации адсорбируемых ионитом ионов.

Таким образом, получены зависимости объема загрузки ионита от количества связываемых ионов для катионита и анионита при заданном расходе дренажного стока (таблица 45).

Таблица 45 – Сводные данные по определению зависимостей объема очистки дренажных вод методом ионного обмена от количества адсорбируемых катионов и анионов

Ионит	Полная статическая обменная емкость ионита, ммоль/ дм ³	Расход дренажного стока, м ³ /час	Уравнение зависимости	Коэффициент аппроксимации, R ²
Анионит АВ-17-8	1150	5	$V_{\text{кати}}=0,0043\Delta C+0,0086$	0,98
		8	$V_{\text{кати}}=0,0069\Delta C+0,0142$	0,99
		10	$V_{\text{кати}}=0,0087\Delta C+0,0173$	0,99
Катионит КУ-2-8	1900	5	$V_{\text{кати}}=0,0026\Delta C+0,0053$	0,98
		8	$V_{\text{кати}}=0,0042\Delta C+0,0087$	0,98
		10	$V_{\text{кати}}=0,0052\Delta C+0,0105$	0,99

Таким образом, определены габаритные размеры фильтра (участка дрены) для заполнения ионитом. Многовариантность технологических схем и фильтрующих загрузок позволяет варьировать технологию очистки в зависимости от химического состава исходной воды и расхода дренажного стока, без изменения принципа конструкции.

Выводы по главе 4

1. Обосновано место размещения локальных очистных сооружений на сопряжении дренажного колодца и магистрального канала, подтвержденное сравнительными результатами химического анализа воды в дренажном колодце и магистральном коллекторном канале. Установлено, что концентрации солеобразующих ионов в дренажном колодце на 25 – 30 % меньше, чем в коллекторе, в который отводится дренажный сток.

2. Рассчитаны расходы дренажного стока, аккумулируемые в дренажный колодец со строго определенной площади орошаемого участка, на примере ООО «Золотовское» Семикаракорского района, минимальное значение которого составило $4,32 \text{ м}^3/\text{час}$, максимальное – $9,36 \text{ м}^3/\text{час}$; материальный баланс катионита и анионита, объемы ионов необходимые для очистки дренажных вод с орошаемых земель до нормативов ПДК_{рх}. Длительность фильтроцикла между регенерациями ионита с учетом работы двух фильтров составила 8 – 9 суток, концентрация адсорбированных ионов в дренажном стоке $6,64 – 8,38 \text{ ммоль/ дм}^3$, масса необходимого ионита составляет 1,93 т.

3 Установлена взаимосвязь объема очищаемого дренажного стока, концентрации адсорбируемых ионов и объема ионообменного материала, получены эмпирические зависимости объема загрузки ионов от концентрации адсорбируемых ионов при разном расходе дренажного стока с высоким уровнем корреляции.

4. Разработана конструкция энергонезависимого, малогабаритного локального очистного сооружения очистки дренажного стока с орошаемого участка, сопряженная с дренажным колодцем, обеспечивающая экологически безопасное отведение очищенных дренажных вод в естественные водотоки. Описаны варианты движения дренажного стока в зависимости от его исходного качества, определены технологические параметры предложенных локальных очистных сооружений, позволяющие сократить затраты на фильтрующие загрузки и частоту их замены.

ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА

5.1 Описание разработанного технического подхода к очистке дренажного стока

Рекомендуемая технология очистки дренажного стока позволяет:

- максимально снизить негативное воздействие дренажно-сбросных вод на окружающую среду при соблюдении норм и стандартов, действующих в Российской Федерации,
- снизить содержание загрязняющих веществ в отводимых водах до требуемых значений посредством использования локальных очистных сооружений или устройств,
- обеспечить бесперебойность и надежность эксплуатации локальных очистных сооружений на основе сорбционно-фильтрующих материалов,
- повысить экологическую безопасность эксплуатируемых инженерно-мелиоративных систем [145].

Схема очистки дренажного стока основана на сочетании методов механической и адсорбционной очистки, и предназначена для удаления следующих загрязнений:

- грубо- и мелкодисперсных механических примесей,
- свободных солеобразующих ионов,
- биогенных веществ и, прежде всего, фосфатов.

Технология очистки включает:

- аккумуляцию стока и усреднение его состава в дренажном колодце,
- объемная седиментация от основной массы взвешенных веществ,

- очистка от грубых механических включений (с целью увеличения срока эксплуатации сорбционных фильтров),

- глубокая адсорбционная очистка от растворенных солеобразующих ионов и биогенных веществ.

Оборудование для сооружения ЛОС рекомендуется выполнить из полимерных и коррозионностойких материалов (полипропилена, полиэтилена, нержавеющей стали) [23].

Описание технологических схем. Дренажный сток на орошаемом участке собирается и отводится посредством сети дрен и закрытых коллекторов, и аккумулируется в дренажном колодце, где происходит седиментационное отстаивание стока от грубодисперсных взвесей и его самотечная подача через отводящую трубу колодца на очистное сооружение (см. рисунок 31).

Первая ступень очистки на очистном сооружении (рисунок 31) предназначена для предварительной механической очистки дренажного стока и отделения из него включений размером свыше 1 мм. По мере накапливания грубодисперсных примесей воды в загрузке фильтра происходит увеличение потерь напора. Чем меньше концентрация взвешенных веществ в очищаемой воде, тем более длительный фильтроцикл фильтра механической очистки. Определяющим параметром для промывки фильтра является увеличение общих потерь напора в технологической цепи очистки. В случае высокого загрязнения дренажных вод на контроле по взвешенным веществам, промывка загрузки фильтров во избежание ее слипания должна осуществляться не реже одного раза в месяц или обязательно перед включением фильтра в эксплуатацию в начале поливного сезона [23].

После первой ступени очистки отфильтрованный сток поступает в отводящий трубопровод, разделенный на три линии. Центральная линия предназначена для отведения дренажного стока в случае, если его дальнейшая очистка не требуется. В боковые линии встроены картриджи, заполненные ионитовой загрузкой (катионитом КУ-2-8 и анионитом АВ-17-8) для удаления растворенных химических элементов, превышающих ПДК. Удаление соответствующих ионов различных солей

из обрабатываемой воды в процессе фильтрования происходит за счет поглощения их ионитом.

Эксплуатация ионитовых фильтров состоит из последовательно проводимых операций: фильтрации, отключения на регенерацию, взрыхления, регенерации, отмывки. Гарантийный срок эксплуатации ионитов от производителя 5 лет [23].

Продолжительность фильтроцикла зависит от содержания катионов и анионов в дренажном стоке, скорости фильтрации, и качества проведенной регенерации [23].

Картриджи с ионитами съемные, их габаритные размеры подбираются в зависимости от объемов дренажного стока и его качества. Период регенерации ионитов устанавливаются в процессе эксплуатации. Конструкция картриджа предусматривает легкий демонтаж для замены (или регенерации) сорбционной загрузки. Для отключения фильтра на регенерацию или замену закрывают задвижки на входе и выходе воды из него, демонтируют эксплуатируемый картридж и вставляют новый со свежей загрузкой. Отработанный картридж с ионитом отправляют на регенерацию.

5.2 Технико-экономическое обоснование сооружения для локальной очистки дренажного стока

Исходными данными для определения себестоимости 1 м^3 очищенной дренажной воды необходимо знать полные капиталовложения и годовые эксплуатационные затраты по всем элементам очистного сооружения являлись:

- аккумулирующая емкость (дренажный колодец),
- водопроводные трубы (закрытые коллекторы) с муфтами,

- трубопроводная запорная арматура,
- картридж для ионитовой загрузки I ступени,
- картридж для ионитовой загрузки II ступени,
- фильтр с прессованным активированным углем для механической очистки,
- реагентное хозяйство (ионообменная смола).

Подсчет капиталовложений и отчисления на амортизацию по рассматриваемому перечню (таблица 46) проводили в соответствии с НЦС 81-02-14 [122].

Таблица 46 – Стоимость элементов сооружения для очистки дренажного стока и отчисления на амортизацию

Элемент сооружения	Количество, шт.	Стоимость, руб.	Амортизационные отчисления (7 %), руб./год
Прямые капитальные затраты			
Аккумулирующая емкость объемом 20 м ³	1	400000	28000
Водопроводная труба диаметром 250 мм и длиной 6 м с муфтой	15	1500	105
Трубопроводная запорная арматура	8	2000	140
Картридж для ионитовой загрузки	4	12000	840
Фильтр механической очистки	1	8500	595
Иониты, т	1,93	289500	20265
Всего капитальных затрат		713500	49945
Прямые эксплуатационные затраты			
Загрузка механического фильтра, глауконит, кг	15	225	–
Реагентное хозяйство, NaOH, кг	495	69300	–
Всего эксплуатационных затрат		69525	–

Экстраполируя данные натуральных исследований воды в дренажном колодце (таблица 40), результаты расчета материального баланса ОН-анионитового фильтра при водоочистке (таблица 44), а также расчетные данные по расходу дренажного стока с орошаемых участков для условий Семикаракорского района (таблица 35), установили, что для орошаемого участка площадью 50 га при сезонной производительности очистного сооружения в 9 м³/час необходимый расход анионита составит 1,93 т. При этом годовые эксплуатационные затраты насчитывают 76660 руб., из которых: 7135 руб. – отчисления на текущий ремонт (1 % от

прямых капитальных затрат), 225 руб. – затраты на загрузку фильтра механической очистки (глауконит), 69300 руб. – стоимость едкого натра на регенерацию анионита, 7666 руб. – неучтенные затраты (10 % от суммы отчислений на текущий ремонт, стоимости фильтра механической очистки и ионитов), 49945 руб. – амортизационные отчисления (7 % от стоимости).

При сезонной производительности очистного сооружения в 9 м³/час себестоимость 1 м³ очищенных дренажных вод составила:

$$S_b = 76660/38880 = 1,97 \text{ руб.}$$

Сводные технико-экономических показатели по предлагаемому очистному сооружению представлены в таблице 47.

Таблица 47 – Техничко-экономические показатели по сооружению
для очистки дренажного стока

Наименование статьи расхода	Затраты, тыс. руб.
1 <i>Капитальные вложения</i>	713,50
1.1 Аккумулирующая емкость объемом 20 м ³	400
1.2 Водопроводная труба диаметром 250 мм и длиной 6 м с муфтой	1,5
1.3 Трубопроводная запорная арматура	2,0
1.4 Картридж для ионитовой загрузки	12,0
1.5 Фильтр механической очистки	8,5
1.6 Иониты	289,5
2 <i>Эксплуатационные расходы</i>	134,265
2.1 Амортизационные отчисления	49,945
2.2 Отчисления на текущий ремонт	7,135
2.3 Загрузка для фильтра механической очистки	0,225
2.4 Реагентное хозяйство	69,30
2.5 Прочие неучтенные затраты	7,66
3 <i>Проектная себестоимость очистки 1 м³ дренажных вод при сезонной производительности очистного сооружения 38,8 тыс. м³</i>	0,00197

Расчеты показали, что стоимость сооружения с сопряженным дренажным колодцем составляет 713,500 тыс. руб. В настоящих условиях для сокращения строительной стоимости, нельзя исключать возможность использования имеющихся на балансе дренажных колодцев с их предварительным ремонтом или реконструкцией.

5.3 Оценка величины предотвращенных платежей за негативное воздействие на водные объекты на примере очистки воды из дренажного колодца

Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 мая 2023 г. № 881 «Правила исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» был определен порядок исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду. Для объектов III категории, к которым относятся мелиоративные каналы, порядок исчисления платы осуществляется в соответствии со ст. 27 и 33 настоящего постановления. Плата в пределах (равных или менее) нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ, технологических нормативов, либо в соответствии с декларацией о воздействии на окружающую среду, либо в соответствии с отчетом об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля для объектов III категории рассчитывается согласно формуле ст. 27. При превышении объема или массы сбросов загрязняющих веществ над указанными в отчете об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля для объектов III категории, плата рассчитывается в соответствии с формулой ст. 33 [123].

На примере исследуемого дренажного колодца и коллектора в Семикаракорском районе рассчитали платежи за сброс веществ в составе дренажных вод до и после очистки по методике, описанной выше. Максимальное загрязнение дренажных вод отмечалось в начале июня (таблица 40), объем дренажного стока с учетом метеорологических характеристик района составлял 526,4 м³/га. Предварительно рассчитали массу загрязняющих веществ до и после очистки на примере исследуемого колодца в объемах дренажных вод и коллектора, зависящих от площади орошаемого участка (таблица 41). Результаты расчетов свели в таблицы 48-50.

Таблица 48– Фактические массы загрязняющих веществ до и после водоочистки (по анионитам) в зависимости от площади орошаемого участка на примере химических показателей воды в дренажном колодце

Площадь орошаемого участка, га	Объем дренажного стока, тыс. м ³ /мес.	Масса загрязняющего вещества, т									
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₂ ⁻ × 10 ⁻³	NO ₃ ⁻ × 10 ⁻³	PO ₄ ³⁻ × 10 ⁻³	Fe _{общ.} × 10 ⁻³
До очистки											
5	0,440	0,044	0,178	0,082	0,020	0,014	0,035	0,003	0,180	0,022	0,013
10	0,881	0,088	0,357	0,164	0,039	0,027	0,070	0,006	0,361	0,044	0,026
15	1,322	0,132	0,536	0,245	0,059	0,041	0,104	0,009	0,542	0,066	0,040
20	1,762	0,177	0,714	0,327	0,079	0,055	0,139	0,012	0,722	0,088	0,053
25	2,203	0,221	0,893	0,409	0,099	0,069	0,174	0,015	0,903	0,110	0,066
30	2,644	0,265	1,072	0,491	0,118	0,082	0,209	0,019	1,084	0,132	0,079
35	3,085	0,309	1,250	0,573	0,138	0,096	0,243	0,022	1,265	0,154	0,093
40	3,525	0,353	1,427	0,655	0,158	0,110	0,278	0,025	1,445	0,176	0,106
45	3,966	0,397	1,607	0,736	0,178	0,123	0,313	0,028	1,626	0,198	0,119
50	4,406	0,441	1,786	0,818	0,197	0,137	0,348	0,030	1,806	0,220	0,132
После очистки											
5	0,440	0,013	0,045	0,023	0,004	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,881	0,027	0,089	0,047	0,009	0,010	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
15	1,322	0,040	0,134	0,070	0,017	0,015	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
20	1,762	0,053	0,178	0,093	0,017	0,020	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000
25	2,203	0,067	0,223	0,117	0,022	0,025	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
30	2,644	0,080	0,268	0,140	0,026	0,030	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000
35	3,085	0,094	0,313	0,164	0,031	0,035	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000
40	3,525	0,107	0,357	0,187	0,035	0,040	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000
45	3,966	0,120	0,402	0,210	0,039	0,046	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
50	4,406	0,134	0,446	0,234	0,044	0,051	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 49 – Размер платежей за негативное воздействие на водные объекты в результате сброса дренажных вод без очистки согласно [123] на примере химических показателей воды в дренажном колодце

Наименование загрязняющего вещества	Фактический сброс загрязняющего вещества, т	Фактический сброс загрязняющего вещества, т		Ставка платы, руб./т	Коэффициент к ставке платы за сброс		Коэффициент пересчета ставки платы по взвешенным веществам ($K_{п}$)	Дополнительный коэффициент ($K_{от}$)	Дополнительный коэффициент ($K_{во}$)	Поправочный коэффициент ($K_{ин}$)	Сумма платы, руб.		Итоговая сумма платы, руб. (ст. 12 + ст. 13)
		в пределах ПДК	сверх ПДК		в пределах ПДК ($K_{плд}$)	сверх ПДК ($K_{ср}$)					в пределах ПДК (ст. 3 × ст. 5 × ст. 6 × ст. 9 × ст. 10 × ст. 11)	сверх ПДК (ст. 4 × ст. 5 × ст. 7 × ст. 9 × ст. 10 × ст. 11)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cl ⁻	0,441	0,441	–	2,4	1	–	–	1	1	1,17	1,24	–	1,24
SO ₄ ²⁻	1,786	0,4406	1,3454	6,0	1	100	–	1	1	1,17	3,09	944,47	947,56
Ca ²⁺	0,197	0,197	–	3,2	1	–	–	1	1	1,17	0,74	–	0,74
Mg ²⁺	0,137	0,137	–	14,9	1	–	–	1	1	1,17	2,39	–	2,39
Na ⁺	0,348	0,348	–	6,7	1	–	–	1	1	1,17	2,73	–	2,73
NO ₂ ⁻	0,00003	0,00003	–	7439,0	1	–	–	1	1	1,17	0,26	–	0,26
NO ₃ ⁻	0,001806	0,001806	–	14,9	1	–	–	1	1	1,17	0,031	–	0,031
PO ₄ ³⁻	0,00022	0,00022	–	3579,3	1	–	–	1	1	1,17	0,92	–	0,92
Fe _{общ.}	0,000132	0,000132	–	5950,8	1	–	–	1	1	1,17	0,92	–	0,92
ИТОГО											12,321	944,47	956,79

10

Таблица 50 – Размер платежей за негативное воздействие на водные объекты в результате сброса дренажных вод без очистки согласно [123] на примере химических показателей воды в коллекторе

Наименование загрязняющего вещества	Фактический сброс загрязняющего вещества, т	Фактический сброс загрязняющего вещества, т		Ставка платы, руб./т	Коэффициент к ставке платы за сброс		Коэффициент пересчета ставки платы по взвешенным веществам ($K_{п}$)	Дополнительный коэффициент ($K_{от}$)	Дополнительный коэффициент ($K_{во}$)	Поправочный коэффициент ($K_{ин}$)	Сумма платы, руб.		Итоговая сумма платы, руб. (ст. 12 + ст. 13)
		в пределах ПДК	сверх ПДК		в пределах ПДК ($K_{пд}$)	сверх ПДК ($K_{ср}$)					в пределах ПДК (ст. 3 × ст. 5 × ст. 6 × ст. 9 × ст. 10 × ст. 11)	сверх ПДК (ст. 4 × ст. 5 × ст. 7 × ст. 9 × ст. 10 × ст. 11)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cl ⁻	20,7	20,7	–	2,4	1	–	–	1	1	1,17	58,13	–	58,13
SO ₄ ²⁻	39,5	12,4	27,1	6,0	1	100	–	1	1	1,17	87,05	19024,2	19111,25
Ca ²⁺	17,32	17,32	–	3,2	1	–	–	1	1	1,17	64,85	–	64,85
Mg ²⁺	4,45	4,45	–	14,9	1	–	–	1	1	1,17	77,58	–	77,58
Na ⁺	19,7	14,85	4,85	6,7	1	–	–	1	1	1,17	116,41	3801,92	3918,33
NO ₂ ⁻	0,003	0,0025	0,0005	7439,0	1	–	–	1	1	1,17	21,76	435,18	456,94
NO ₃ ⁻	0,08	0,08	–	14,9	1	–	–	1	1	1,17	1,39	–	1,39
PO ₄ ³⁻	0,061	0,061	–	3579,3	1	–	–	1	1	1,17	255,45	–	255,45
Fe _{общ.}	0,02	0,012	0,008	5950,8	1	–	–	1	1	1,17	83,55	5569,95	5653,5
ИТОГО											766,17	28831,25	29597,42

На период реализации организациями программ повышения экологической эффективности или планов мероприятий по охране окружающей среды при исчислении платы за негативное воздействие на окружающую среду при сбросах загрязняющих веществ в отношении всей массы сбросов загрязняющих веществ (за исключением массы сбросов загрязняющих веществ в пределах технологических нормативов) вместо коэффициента $K_{пр}$ применяется коэффициент 1.

Лица, обязанные вносить плату, осуществляющие хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах III категории, вместо коэффициента $K_{пр}$ применяют коэффициент $K_{ср}$, равный 100 [123].

5.4 Оценка величины предотвращенного ущерба водным объектам

Оценка проводилась по методике [124], разработанной в соответствии с Водным кодексом РФ [110] и постановлением Правительства РФ от 4 ноября 2006 г. № 639 «О порядке утверждения методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» [125] и применяется для исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, в том числе нарушения правил эксплуатации водохозяйственных систем, сооружений и устройств, связанных со сбросом вредных (загрязняющих) веществ в водный объект.

Исчисление размера вреда осуществлялась по формуле [124]:

$$U = K_{вг} \times K_{в} \times K_{ин} \times \sum_{i=1}^n (H_i \times M_i \times K_{из}), \quad (17)$$

где U – размер вреда, тыс. руб.;

$K_{вг}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года (для зимы и осени принимается 1,15, весны – 1,25, лета – 1,10);

$K_{в}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (для бассейна р. Дон – 1,29);

$K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

H_i – такса для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водный объект, тыс. руб./т (определяется в соответствии с таблицей 3 методики [124]);

M_i – масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, т (рассчитывается в соответствии с гл. 4 методики [124]);

$K_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредного (загрязняющего) вещества на водный объект (устанавливается в зависимости от кратности превышения фактической концентрации вредного (загрязняющего) вещества при сбросе на выпуске дренажных вод над его фоновой концентрацией в воде водного объекта: для I–II классов опасности веществ принимается в размере рассчитанной кратности превышения; для III–IV классов опасности веществ принимается в размере 1 – при превышении до 10 раз, 2 – при превышении более 10 и до 50 раз, 5 – при превышении более 50 раз).

В соответствии с методикой [124] согласно п. 16 был рассчитан размер вреда, причиненный р. Дон в результате отвода дренажного стока из колодца (таблица 41) в коллектор ЦС до и после очистки предлагаемым способом. Объем сброса дренажных вод рассчитывался исходя из площади орошаемого участка в 50 га (таблица 35), M_i принималась по таблице 48. Результаты расчета сведены в таблице 51.

В итоге потенциальный размер предотвращенного вреда, причиненный р. Дон сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе дренажных вод из вы-

деленного колодца (таблица 40), исчисляется в 13,506 тыс. руб. Превышение ПДК отмечено по сульфат-ионам.

Таблица 51 – Размер ущерба за негативное воздействие на водный объект в результате сброса дренажных вод из дренажного колодца без очистки

Показатель	$C_{\phi i}$, мг/дм ³	ПДК _i , мг/дм ³	M_i , т	$K_{из}$	$K_{вг}$	$K_{в}$	$K_{ин}$	H_i , тыс. руб./т	$У$, тыс. руб.
Cl ⁻	100,2	300	0	1	1,10	1,56	1,17	5	0
SO ₄ ²⁻	405,3	100	1,3454	1	1,10	1,56	1,17	5	13,506
Ca ²⁺	44,8	180	0	1	1,10	1,56	1,17	5	0
Mg ²⁺	31,1	40	0	1	1,10	1,56	1,17	5	0
Na ⁺	78,9	120	0	1	1,10	1,56	1,17	5	0
NO ₂ ⁻	0,007	0,02	0	1	1,10	1,56	1,17	670	0
NO ₃ ⁻	0,41	40	0	1	1,10	1,56	1,17	5	0
PO ₄ ³⁻	< 0,05	0,5	0	1	1,10	1,56	1,17	280	0
Fe _{общ.}	0,03	0,1	0	1	1,10	1,56	1,17	510	0
Всего									13,506

Примечание – $C_{\phi i}$ – средняя фактическая концентрация i -го вещества в дренажных водах, мг/дм.

Также рассчитали размер вреда, причиненный р. Дон в результате отвода дренажного стока из коллектора ЦС по методике [124]. Результаты расчета сведены в таблице 52.

Таблица 52 – Размер ущерба за негативное воздействие на водный объект в результате сброса дренажных вод из коллектора без очистки

Показатель	$C_{\phi i}$, мг/дм ³	ПДК _i , мг/дм ³	M_i , т	$K_{из}$	$K_{вг}$	$K_{в}$	$K_{ин}$	H_i , тыс. руб./т	$У$, тыс. руб.
Cl ⁻	100,2	300	0	1	1,10	1,56	1,17	5	
SO ₄ ²⁻	405,3	100	27,1	1	1,10	1,56	1,17	5	272,046
Ca ²⁺	44,8	180	0	1	1,10	1,56	1,17	5	
Mg ²⁺	31,1	40	0	1	1,10	1,56	1,17	5	
Na ⁺	78,9	120	4,85	1	1,10	1,56	1,17	5	48,687
NO ₂ ⁻	0,007	0,02	0,0005	1	1,10	1,56	1,17	670	0,673
NO ₃ ⁻	0,41	40	0	1	1,10	1,56	1,17	5	
PO ₄ ³⁻	< 0,05	0,5	0	1	1,10	1,56	1,17	280	
Fe _{общ.}	0,03	0,1	0,008	1	1,10	1,56	1,17	510	8,191
Всего									329,597

Примечание – $C_{\phi i}$ – средняя фактическая концентрация i -го вещества в дренажных водах, мг/дм.

Важно заметить, что при увеличении площади орошаемого участка, подвешенного к очистному сооружению (в месте выделенного дренажного колодца), размер эксплуатационных затрат на водоочистку постепенно снижается по отношению к потенциальному предотвращенному размеру вреда ($У$). Также в случае превышения ПДК по кальцию, магнию или натрию, для очистки возможно использовать катионит КУ-2-8, объемная емкость которого значительно выше, чем у анионита.

5.5 Определение экологической эффективности разработанной технологии

Планирование водоохраных мероприятий (ВОМ) подразумевает определение их эффективности (\mathcal{E}) по формуле в части достижения требуемого качества воды в водном объекте. Для этого используют коэффициент (1) без учета ВОМ и с их учетом, соответственно.

$$\mathcal{E} = \left(1 - \frac{K_{\text{пз}}^{\text{ВОМ}} + 1}{K_{\text{пз}} + 1} \right) \times 100 \quad (18)$$

На основании данных натурных исследований качества воды и результатов количественного химического анализа воды после очистки (таблица 34) рассчитали $K_{\text{пз}}$, $K_{\text{пз}}^{\text{ВОМ}}$ и \mathcal{E} , полученные значения представили в таблице 53.

Таким образом, после проведения ВОМ, вода в дренажном колодце с точки зрения экологических нормативов для водных объектов рыбохозяйственного назначения сменила класс качества с «умеренно загрязненной» на «чистый», эффективность планируемых водоохраных мероприятий составила примерно 70 %.

Таблица 53 – Данные по коэффициенту предельной загрязненности воды в дренажном колодце с учетом и без водоохранных мероприятий, эффективность водоохранных мероприятий

Показатель	$C_i / ПДК_i^*$ до очистки	$C_i / ПДК_i$ после очистки	Э, %
1	2	3	4
Хлориды	0,334	0,101	69,91
Сульфаты	4,053	1,228	
Нитриты	0,35	0	
Нитраты	0,01	0	
Фосфаты	0,1	0,02	
Железо общее	0,3	0,2	
Класс качества воды	Умеренно загрязненная, $K_{пз} = 4,147$	Чистая, $K_{пз}^{ВОМ} = 0,549$	

* Примечание C_i - концентрация i -го вещества, $ПДК_i$ – предельно-допустимая концентрация i -го вещества

Выводы по главе 5

1. Капитальные затраты для очистного сооружения на примере химических показателей воды в дренажном колодце составили 713,5 тыс. руб., годовые эксплуатационные затраты насчитывают 134,265 тыс. руб. При сезонной производительности очистного сооружения в 9 м³/час себестоимость 1 м³ очищенных дренажных вод составила 3,45 руб.

2. Рассчитаны массы веществ в дренажной воде до и после очистки на примере исследуемого колодца и коллектора в объемах, зависящих от площади орошаемого участка. Размер платы за негативное воздействие на водный объект при поступлении дренажных вод из колодца составил 956,79 руб. в месяц, из коллектора – 29597,42 руб., размер вреда от сброса неочищенных дренажных вод (ущерб) водному объекту из дренажного колодца составил 13506 руб. в месяц, из коллектора – 358428,25 руб. Размер предотвращенной платы из дренажного ко-

лодца составил 14405,47 руб. в месяц или 72027, 35 руб. в сезон, из коллектора 358428,25 руб. в месяц или более 2 млн. руб. в сезон.

3. Рассчитана эффективность водоохранных мероприятий (очистка дренажного стока) по изменению коэффициента предельной загрязненности, составившая 70 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследований по диссертационной работе были решены все поставленные задачи. Поставленная цель исследования достигнута. По результатам исследования сформулированы следующие выводы.

1. Информационно-аналитический анализ современных технологий и технических решений позволил установить, что основные схемы водоочистки дренажного стока связаны с инженерно-техническим совершенствованием биосорбционно-фильтрующих технологических узлов в составе мелиоративных систем, не устраняющих проблему высокой минерализации дренажного стока, и обосновать перспективность фильтрования воды через иониты как наиболее эффективного способа деминерализации, способствующего повышению экологической безопасности коллекторно-дренажных вод.

2. Установлены закономерности сезонного колебания минерализации и солеобразующих ионов в течение вегетационного периода, характеризующиеся резким ростом в весенний и осенний периоды, обусловленные поднятием уровня грунтовых вод, и падением в летний период, обусловленной применением промывных режимов орошения.

В фоновых створах естественных водотоков установлена повышенная концентрация сульфатов – от 440 до 700 мг/дм³, в дренажном стоке – содержание сульфатов до 15ПДК_{рх}, магния – до 5 ПДК_{рх}, натрия – до 3 ПДК_{рх}.

3. Научно обоснован и разработан новый способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, заключающийся в расчете комплексного показателя качества ДВ, позволяющего учесть геохимический фон водотока, как природный фактор и токсичность, биогенность и содержание легкоокисляемых органических соединений, как антропогенную составляющую в их составе, и обеспечивающий оценку экологической безопасности отводимого дренажного стока. Обоснованы критерии оценки их качества, принимающие следу-

ющие значения: менее 13,3 характеризуют ДВ как чистые, от 13,3, но менее 24,0 – умеренно-загрязненные, от 24,0, но менее 76,7 – грязные, а от 76,7 и более – очень грязные.

4. Усовершенствована технология очистки воды на ионообменных смолах, обеспечивающая снижение минерализации примерно в 4 раза, в том числе концентрации: гидрокарбонатов в 6 раз, хлоридов и сульфатов в 3, кальция в 4 и натрия – в 3 раза. Установлены технологические параметры фильтров при максимальном расходе до 9 м³/час, составляющие в диаметре – 1,5 м, длине – 2,8 м, объеме – 5,024 м³; длительность фильтроцикла между регенерациями с учетом работы двух фильтров 8 – 9 суток.

5. Разработана конструкция энергонезависимых, малогабаритных ЛОС, сопряженных с дренажным колодцем, обеспечивающая экологически безопасное отведение очищенных дренажных вод в естественные водотоки. Усовершенствованы технологические схемы очистки в зависимости от исходной минерализации воды на основе системы регулируемых закрытых дрен.

6. Установлены взаимосвязи объема очищаемого дренажного стока с концентрацией адсорбируемых ионов и объемом ионообменного материала, получены эмпирические зависимости объема загрузки ионитов от концентрации адсорбируемых ионов при разном расходе дренажного стока, описываемые уравнениями линейной зависимости с коэффициентами корреляции 0,98 – 0,99. Проведена технико-экономическая оценка ЛОС, показавшая, что при сезонной производительности очистного сооружения 38,88 тыс. м³ себестоимость 1 м³ очищенной воды составляет 1,97 руб.; капитальные вложения – 713,5 тыс. руб., эксплуатационные затраты – 134,26 тыс. руб.

7. Экологическая эффективность водоохраных мероприятий по изменению коэффициента предельной загрязненности дренажной воды составила 70 %. Удельные предотвращенные платежи за сброс неочищенных дренажных вод, 2,9 руб./м³. Фактический сезонный эффект от внедрения предлагаемых ЛОС составит 119,859 тыс. руб. или 3,08 руб./м³.

Рекомендации производству

В зависимости от исходного качества воды и расхода дренажного стока рекомендуется менять объемы фильтрующих загрузок, виды фильтрующих загрузок, не меняя принципа ЛОС.

Многовариантность технологических схем и фильтрующих загрузок, модульный принцип построения и эксплуатации конструкции, позволит менять производительность, не меняя принципа конструкции.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в:

- расширении исследований по применению различных фильтрующих материалов, используемых для эксплуатации очистных устройств и сооружений, в частности, для обеспечения эффективного удаления пестицидов;

- необходимости проведения исследований и работ по проектированию в составе очистных сооружений точек возврата очищенного дренажного стока в оросительную сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».
2. Красовская, Н.Н. Стратегия обеспечения экологической безопасности водных объектов, эксплуатируемых мелиоративной отраслью / Н.Н. Красовская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2023. – № 2 (90). – С. 106 – 112.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. – 686 с.
4. Дрововозова, Т. И. Проблема «солевого загрязнения» природных вод Ростовской области, приуроченных к орошаемому массиву / Т.И. Дрововозова, А.А. Кириленко // Экология и водное хозяйство. – 2021. – Т. 3. – № 3. – С. 55 – 71. DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-55-71.
5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552: по состоянию на 3 фев. 2023 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.
6. Вернадский, В. И. История природных вод / В.И. Вернадский. – М. : Наука, 2003. – 750 с.
7. Реймерс, Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М. : Журн. «Россия Молодая», 1994. – 367 с.
8. Риклефс, Р. Основы общей экологии / пер. с англ. Н. О. Фоминой; под ред. Н. Н. Карташева. – М.: Мир, 1979. – 424 с.

9. Мелиорация и охрана окружающей среды: сб. науч. работ / Белорус. НИИ мелиорации и вод. хоз-ва; редкол.: В. Ф. Карловский [и др.]. Минск: БелНИИМиВХ, 1989. – 212 с.

10. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Ростовской области в 1999 году». 2000. Ростов н/Д. – 279 с.

11. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Ростовской области в 1992 году». 1993. Ростов н/Д. – 112 с.

12. Долгов, С. В. Современное состояние водных ресурсов в Ростовской области / С.В. Долгов, С.И. Шапоренко, Н.И. Сенцова // Аридные экосистемы. – 2010. – Т. 16. – № 4(44). – С. 39 – 52.

13. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/gts> (дата обращения: 07.05.2023).

14. Красовская, Н.Н. Проблемы по установлению состава программы наблюдений по гидрохимическим показателям дренажных вод с орошаемых земель / Н.Н. Красовская, Т.И. Дрововозова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – №4. – С. 19 – 23.

15. Щитов, С. Е. Выявление принципов формирования организационно-экономического механизма экологизации агро-мелиоративного земледелия / С.Е. Щитов // Экономика и экология территориальных образований. – 2016. – № 3 – С. 78 – 83.

16. Капустян, А. С. Очистка и утилизация дренажно-сбросных вод оросительных систем / А.С. Капустян, В.П. Пальцев, А.В. Щедрина // ГУ «ЮжНИИ-ГиМ». – М., 2000. – 242 с.

17. Васильев, С. М. Экологическая концепция оценки воздействия оросительных систем на ландшафты Нижнего Дона / С.М. Васильев, В.Ц. Челахов, Е.А. Васильева : монография. – Ростов н/Д : СКНЦ ВШ, 2005. – 308 с.

18. Домашенко, Ю. Е. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток / Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев //

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 2(22). – С. 112 – 127.

19. Айдаркина, Е. Е. Водопользование Ростовской области: основные проблемы и пути их решения / Е.Е. Айдаркина // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 2(16). – С. 43 – 49.

20. Дрововозова, Т. И. Оценка минерализации дренажного стока с орошаемых угодий относительно фоновой концентрации в воде естественного водоприемника с применением функции желательности Харрингтона / Т.И. Дрововозова, А.А. Кириленко // Экология и водное хозяйство. – 2023. – Т. 5. – № 1. – С. 1 – 14. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-1-1-14.

21. Химический состав коллекторно-дренажного стока в открытых каналах Семикаракорского района / Т. И. Дрововозова [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 4(36). – С. 88 – 99.

22. Экологическая оценка качества подземных вод Куйбышевского района Ростовской области и способов ее очистки / Т. И. Дрововозова [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2(41). – С. 71.

23. Разработка технологии и технических решений по очистке коллекторно-дренажного и поверхностного стока с орошаемых площадей для обеспечения экологически безопасной эксплуатации мелиоративных систем : отчет о НИР / рук.: Т. И. Дрововозова. Исполн.: Марьяш С. А. [и др.]. – Новочеркасск : Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», 2019. – 177 с.

24. Домашенко, Ю. Е. Идентификация зависимостей минерализации от ионного состава дренажно-сбросных стоков правобережья Западного Маныча / Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 3(23). – С. 36 – 51.

25. Васильев, С. М. Влияние поверхностного стока урбанизированных территорий на химический состав коллекторно-сбросных вод / С.М. Васильев, Ю.Е. Домашенко, А.А. Кисиль // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1(29). – С. 31 – 48.

26. Кирейчева, Л. В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий / Л.В. Кирейчева // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 64 – 69.

27. Кирейчева, Л. В. Дренажные воды как альтернативные водные ресурсы для орошения / Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 13 – 18.

28. Домашенко, Ю. Е. Анализ зарубежного опыта утилизации сбросных и дренажных вод в оросительных мелиорациях / Ю.Е. Домашенко, Н.Н. Проценко // Экология и водное хозяйство. – 2022. – Т. 4. – № 1. – С. 1 – 13. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13.

29. Домашенко, Ю. Е. Ретроспективный обзор технологий очистки и подготовки дренажных вод с оросительных систем / Ю.Е. Домашенко, Н.Н. Проценко // Экология и водное хозяйство. – 2022. – Т. 4. – № 3. – С. 58 – 72. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-58-72.

30. Глазунова, И. В. Биоинженерные сооружения и накопители местного стока водосборов для наиболее эффективного использования водных ресурсов речных бассейнов / И.В. Глазунова, А.К. Ромашенко, К.А. Тишина // Природообустройство. – 2018. – № 2. – С. 46 – 54.

31. Раткович, Л. Д. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем / Л.Д. Раткович, В.Н. Маркин, И.В. Глазунова. – М., 2013. – 256 с.

32. Дрововозова, Т. И. Техническое решение локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель / Т.И. Дрововозова, А.А. Кириленко // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7 (103). – С. 303 – 313.

33. Кирейчева, Л. В. Комплексные сорбенты для очистки сточных вод от органических соединений и ионов тяжелых металлов / Л.В. Кирейчева, Н.П. Андреева // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2009. – № 1. – С. 43 – 46.

34. Кирейчева, Л. В. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин В. – М. : ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2017. – 296 с.

35. Конторович, И. И. Технические решения для утилизации дренажных вод / И.И. Конторович // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 3(23). – С. 225 – 231.

36. Конторович, И. И. Интенсифицированное испарение минерализованного дренажного стока: технология и технические средства / И.И. Конторович // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий: материалы междунар. науч.-практ. конф. - Том 4. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. – С. 104 – 110.

37. Кожанов, А. Л. К вопросу определения объема накопителей дренажного стока на осушительно-увлажнительных системах / А.Л. Кожанов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 2(78). – С. 99 – 105.

38. Пат. 2646640 RU, МПК6 E 02 B 11/00. Пруд-испаритель минерализованного дренажного стока / Кизяев Б. М. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». № 2017116963; заявл. 16.05.17; опубл. 06.03.18, Бюл. № 7. – 9 с.

39. Пат. 2357041 RU, МПК8 E02B 11/00. Накопитель дренажного стока гидромелиоративных систем / И. И. Конторович. Заявка № 2007146667/03; Заявл. 14.12.2007; Опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15. – 25 с.

40. Комплексное использование водных ресурсов Республики Калмыкия. Элиста: Джангар, 2006. – 200 с. ISBN 5-94587-222-9.

41. Животный мир Туркменистана и его охрана / под ред. академика Э. А. Рустамова. - Ашхабад: ЫЛЫМ, 2017. – 207 с.

42. Пат. 2091538 RU, МПК6 E 02 B 11/00. Способ очистки дренажного стока и устройство для его осуществления / Л. В. Кирейчева; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». № 94039658/13; заявл. 21.10.94; опубл. 27.09.97. – 6 с.

43. А. с. 1807163 СССР, МПК Е 02 В 11/00. Способ комплексной очистки дренажного стока и система для его осуществления / Л. В. Кирейчева, В. С. Мясищева, Н. Б. Феррапонтов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». № 4914795; заявл. 28.02.91; опубл. 07.04.93, Бюл. № 13. – 8 с.

44. Стрельбицкая, Е. Б. Сорбционно-фильтрующие сооружения в технологиях очистки дренажного стока гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны Российской Федерации / Е.Б. Стрельбицкая, А.П. Соломина // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 28 – 36. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-28-36.

45. Пат. 2728365 RU, МПК6 Е 02 В 11/00. Система сооружений для очистки дренажного стока / В. К. Губин [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». № 2019144000; заявл. 26.12.19; опубл. 29.07.20, Бюл. № 22. – 7 с.

46. Галлямова, И. Р. Современные фильтрующие материалы, применяемые для подготовки воды / И.Р. Галлямова, А.Ю. Власова // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: международная науч.-техн. конф., Алматы, Казань, 20 – 21 окт. 2022 г. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 195 – 201.

47. Бородычев, В. В. Инженерная защита окружающей среды от воздействия дренажного стока с орошаемых земель / В.В. Бородычев, И.И. Конторович // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий: материалы междунар. науч.-практ. конф., провед. в рамках Междунар. науч.-практ. форума, посвящ. 75-летию образования Волгогр. гос. аграр. ун-та. – Волгоград, 2019. – С. 22 – 31.

48. Бородычев, В. В. Концепция использования возобновляемых источников энергии для утилизации минерализованного дренажного стока / В.В. Бородычев, И.И. Конторович.- Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2012. – 104 с.

49. Бородычев, В. В. Утилизация дренажного стока с орошаемых земель: исходные требования к разработке процесса / В.В. Бородычев, И.И. Конторович // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. -

2016. – № 3(23). – С. 83 – 101. – Режим доступа: URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec430-field6.pdf (дата обращения: 01.05.2022).

50. Стрельбицкая, Е. Б. Регулирование качества дренажного стока для его повторного использования при увлажнении почв гумидной зоны России / Е.Б. Стрельбицкая, А.П. Соломина // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., Москва, 29–30 марта 2016 г. Том 1. – М.: ВНИИ Агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2016. – С. 399 – 404.

51. Стрельбицкая, Е. Б. Основные принципы совершенствования узлов очистки стока в составе осушительно-увлажнительных систем Нечерноземной зоны / Е.Б. Стрельбицкая, А.П. Соломина // Природообустройство. – 2019. – № 5. – С. 39 – 46. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-39-46.

52. Концептуальные положения по использованию коллекторно-дренажных и сбросных вод, проходящих по каналам федеральной собственности: отчёт по исполнению поручения директора Департамента мелиорации МСХ РФ, председателя секции мелиорации НТС МСХ России (протокол № 8 от 08.07.2017) / ФГБНУ «РосНИИПМ»; отв. исп.: Кисиль А. А. – Новочеркасск, 2017. – 31 с.

53. Марьяш, С. А., Влияние химического состава коллекторно-сбросных вод на экологическое состояние водных объектов приёмников коллекторно-дренажного и поверхностного стоков / С.А. Марьяш, Д.В. Мильченкова, Т.И. Дровозова // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы III междунар. науч.-практ. интернет-конф., Новочеркасск, 26 – 28 апреля 2022 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2022. – С. 46 – 50.

54. Кириленко, А.А. Эффективность ионообменной очистки возвратных вод при орошении и размер предотвращенного вреда при их сбросе в водоприемник / А.А. Кириленко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2023. – № 2 (90). – С. 26 – 32.

55. Безднина, С. Я. Водоотведение в мелиорации и защита водных экосистем от загрязнения / С.Я. Безднина, Е.В. Овчинникова // Современные проблемы мели-

орации и водного хозяйства. Материалы юбилейной междунар. конф. Том 1. – М., 2009. – С. 373 – 380.

56. Паненко, Н. Н. Причины несоблюдения предельно допустимых концентраций веществ 4э класса опасности в контрольном створе малых рек - приемников дренажно-сбросных вод / Н.Н. Паненко, Т.И. Дровозова, Е.С. Кулакова // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 17 – 33.

57. Федеральный перечень Методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды: РД 52.18.595-96: утв. Росгидрометом 20.12.96, Госстандартом России 15.12.96: введ. в действие с 01.08.99. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. – 97 с.

58. Массовая концентрация железа общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с 1,10-фенантролином: РД 52.24.358-2006: утв. Росгидрометом 27.03.06, введ. в действие с 01.04.06. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2006. – 106 с.

59. Массовая концентрация железа общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с 1,10-фенантролином: РД 52.24.358-2019: утв. Росгидрометом 15.03.19, введ. в действие с 01.11.19. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2019. – 25 с.

60. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом: РД 52.24.382-2006: утв. Росгидрометом 27.03.06, введ. в действие с 01.04.06. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2006. – 25 с.

61. Жесткость воды. Методика выполнения измерений титриметрическим методом с трилоном Б: РД 52.24.395-2017: утв. Росгидрометом 07.12.17, введ. в действие с 01.10.18. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2017. – 29 с.

62. Массовая концентрация кальция в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом с трилоном Б: РД 52.24.403-2018: утв. Росгидрометом 10.01.18, введ. в действие с 01.10.18. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2018. – 26 с.

63. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом с хлоридом бария: РД 52.24.406-2019: утв. Росгидрометом 11.09.18, введ. в действие с 01.10.19. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2018. – 26 с.

64. Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика выполнения измерений аргентометрическим методом: РД 52.24.407-2017: утв. Росгидрометом 30.10.17, введ. в действие с 01.10.18. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2017. – 22 с.

65. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02»: ПНД Ф 14.1:2:4.128-98: утв. Госкомэкологией России 01.01.98. М: Госкомэкология России, 2007. – 118 с.

66. Массовая концентрация гидрокарбонатов и щёлочность природных вод. Методика измерений титриметрическим методом: РД 52.24.493-2020: утв. Росгидрометом 27.05.2020, введ. в действие 01.11.20. Ростов-н/Д: ФГБУ «ГХИ», 2020. – 44 с.

67. Разработка предложений по внесению изменений в законодательство российской федерации в части совершенствования порядка взимания платы за превышение предельно допустимых сбросов вредных веществ с мелиорированных земель и распределения ответственности между сельхозтоваропроизводителями, использующими агрохимикаты и удобрения, и собственниками мелиоративных систем, в которые осуществляется сброс сточных вод сельхозтоваропроизводителями: отчет о НИР / рук.: Т. И. Дрововозова. Исполн.: Кулакова Е. С. [и др.]. – Новочеркасск : Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», 2021. – 182 с.

68. Красовская, Н.Н. Динамика ирригационного качества оросительной и дренажно-сбросных вод Нижне-Донской оросительной системы в 1972 и 2019–2021 годах [Электронный ресурс] / Н.Н. Красовская Н.Н, Т.И. Дрововозова // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 87 – 100. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-87-100>.

69. Дрововозова, Т. И. Гидрогеохимическая характеристика подземных вод Юго-Западной части Ростовской области / Т.И. Дрововозова, Д.В. Тесаловская, В.В. Дядюра // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 г. / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова; ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2017. – С. 142 – 147.

70. Зубков, Е. А. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Зубков Евгений Анатольевич. – Ростов-н/Д, 2017. – 185 с.

71. Дрововозова, Т.И. Экологическая оценка состояния малых водных объектов в зоне влияния гидромелиоративных систем / Т.И. Дрововозова, С.А. Манжина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – №3(3). – С. 14 – 26.

72. Паненко, Н.Н. Оценка пригодности воды из открытых коллекторов Семикаракорского района Ростовской области для орошения [Электронный ресурс] / Н.Н. Паненко, Т.И. Дрововозова, С.А. Манжина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 3(39). – С. 154–169. – Режим доступа: URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1144>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-154-169.

73. Паненко, Н.Н. Геоэкологические циклы солеобразующих ионов в агроландшафтах / Н.Н. Паненко, Т.И. Дрововозова, С.А. Марьяш, Е.С. Кулакова // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Юбилейный сборник научных трудов XIII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Донского государственного технического университета (Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения), в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России и выставки "Интерагромаш". В 2-х томах, 2020. – С. 509 – 513.

74. Алёкин, О. А. Основы гидрохимии / О.А. Алёкин. – Л., 1970. – 404 с.

75. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 479 с.
76. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 400 с.
77. Ивановский, Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad / Р.И. Ивановский. – М.: БХВ – Петербург, 2008. – 528 с.
78. Ивановский, Р.И. Компьютерные технологии в науке. Практика применения систем Mathcad Pro / Р.И. Ивановский. – М.: Высш. Шк, 2003. – 430 с.
79. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. URL: <https://fsvps.gov.ru/> (дата обращения: 04.09.2023).
80. Безуглова, О.С. Почвы Ростовской области / О.С. Безуглова, М.М. Хырхырова. - Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2011. – 352 с.
81. Паненко, Н.Н. Изучение динамики химических элементов в орошаемых почвах Семикаракорского района Ростовской области / Н.Н. Паненко, Т.И. Дрововозова, А.А. Чигрин // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования: сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020. – С. 103 – 105.
82. Паненко, Н.Н. Исследование химического состава водной вытяжки и оценка степени засоления орошаемых почв, подвешенных к коллекторам Семикаракорского района Ростовской области [Электронный ресурс] / Н.Н. Паненко, Т.И. Дрововозова // Экология и водное хозяйство: актуальные проблемы и перспективы инновационного развития»: Всероссийская научно-практическая конф. – 2020. – № 2(05). – С. 36 – 48. – Режим доступа: URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=62>. – DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-36-48.

83. Красовская, Н.Н. Оценка степени засоления орошаемых почв по содержанию токсичных солей / Н.Н. Красовская, Т.И. Дровозова, С.Н. Полубедов // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.- практ. конф. (Шумаковские чтения), посвящ. 120-летию со дня рождения учёного в области гидравлики Скибы Михаила Матвеевича, 01– 03 ноября 2022 г., Вып. 20. Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2022. – С. 346-350. ISBN

84. Мамонтов, В.Г. Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв / В.Г. Мамонтов. – М.: Изд-во МСХА, 2002. – 73 с.

85. Мякина, М.Б. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв / М.Б. Мякина, Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 63 с.

86. Хитров, Н.Б. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Н. Б. Хитровым, А. А. Познизовским. – М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1990. – 235 с.

87. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 491 с.

88. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Воробьевой Л.А. – М.: Изд-во ГЕОС, 2006. – 133 с.

89. Мамонтов, В.Г. Практическое руководство по химии почв /В.Г. Мамонтов, А.А. Гладков, М.М. Кузельев. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. – 225 с.

90. Базилевич, Н.И. Учет засоленных почв / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова //Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. – М.: Изд-во Колос, 1970. – 91 с.

91. Боровский, В.М. Теоретические основы процессов засоления-рассоления почв / В.М. Боровский, Э.А. Соколенко. – Алма-Ата.: Изд-во Наука, 1981. – 289 с.

92. Шабанов, В. В. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. – М.: МГУП, 2009. – 154 с.

93. Паненко, Н.Н. Оценка уровня загрязнённости водных объектов в месте выпуска дренажно-сбросных вод / Н.Н. Паненко, Т.И. Дрововозова, С.А. Марьяш // Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию эколого-мелиоративного факультета. – Волгоград, 2020. – С. 46 – 50.

94. ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения [Электронный ресурс]. Введ. 01-07-91. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

95. Красовская, Н.Н. Эколого-мелиоративная оценка оросительной воды с магистральных каналов центрального орошаемого района / Н.Н. Красовская, Т.И. Дрововозова // Научные исследования - сельскохозяйственному производству. Материалы II Международной научно-практической Интернет-конференции. – Орел, 2023. – С. 127 – 132.

96. Безднина, С. Я. Качество воды для орошения. Принципы и методы оценки / С.Я. Безднина. – М.: Рома, 1997. – 185 с.

97. Буданов, М. Ф. Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения / М.Ф. Буданов. – Киев: Урожай, 1970. – 48 с.

98. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.

99. Пат. RU 2721713 Российская Федерация, МПК G01N 33/18. Способ оценки экологического состояния водных объектов / Трофимчук М.М.; заявитель и патентообладатель ФГБУ "Гидрохимический институт" (ФГБУ "ГХИ"). № 2019133543; заявл. 21.10.19; опубл. 21.05.2020, Бюл. № 15. – 12 с.

100. Пат. RU 2050128 Российская Федерация, МПК A01K 61/0G01N 33/18. Способ определения экологического состояния пресноводных водоемов/ Цветко-

ва Л.И. и др.; заявитель и патентообладатель Цветкова Л.И. и др. № 5044510/13; заявл. 28.05.1992; опубл. 20.12.1995. – 7 с.

101. РД 52.24.643–2002 Методические указания «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»: разработан Гидрохимическим институтом (ГХИ) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Ростов-на-Дону, 2002. – 55 с.

102. ГОСТ Р 58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций. [Электронный ресурс]. Введ. 01.05.2020. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

103. Дрововозова, Т. И. Совершенствование технического подхода к управлению процессом локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель / Т.И. Дрововозова, А.А. Кириленко // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 94 – 108.

104. Дрововозова, Т. И. Предложения по распределению ответственности за качество отводимых дренажно-сбросных вод между сельхозтоваропроизводителями и собственниками мелиоративных систем / Т.И, Дрововозова, С.Н. Полубедев, А.А. Кириленко // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), посвященной 120-летию со дня рождения ученого в области гидравлики Скибы Михаила Матвеевича, Новочеркасск, 01–03 нояб. 2022 г. / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова. Том Выпуск 20. – Новочеркасск: Лик, 2022. – С. 23 – 27.

105. Слабунова, А. В. К вопросу определения платы за оказание услуг по подаче (отводу) воды для сельхозтоваропроизводителей на мелиорированных землях / А.В. Слабунова, Ю.Е. Домашенко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, – № 1. – С. 258 – 276. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-258-276.

106. Слабунова, А. В. Разработка функциональной модели определения стоимости услуги по подаче (отводу) воды на орошение / А.В. Слабунова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – № 1(73). – С. 71–77.

107. Слабунова, А. В. О проблемах экономического механизма платного водопользования в области мелиорации в России и странах бывшего СССР /А.В. Слабунова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 2(34). – С. 230 – 245. DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-230-245.

108. Об утверждении Порядка ведения собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных, в том числе дренажных, вод, их качества [Электронный ресурс]: Приказ Минприроды России от 9 ноября 2020 г. № 903. Доступ из справ. системы «Техэксперт».

109. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федер. закон от 10 февраля 2001 г. № 7-ФЗ. Доступ из справ. системы «Техэксперт».

110. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон от 12 апреля 2006 г. № 74-ФЗ. Доступ из справ. системы «Техэксперт».

111. Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля [Электронный ресурс]: Приказ Минприроды России от 18 февраля 2022 г. № 109. Доступ из справ. системы «Техэксперт».

112. Типы почв Ростовской области: черноземы и их свойства [Электронный ресурс] // материалы ФГБУ «Ростовский референтный центр Россельхознадзора». – Режим доступа: URL: <http://referent61.ru/press-tsentr/novosti/tipy-pochv-rostovskoy-oblasti-chnozemy-i-ikh-svoystva/> (дата обращения: 08.02.2023).

113. Пат. 2505486 Российская Федерация, МПК⁸ C02F 1/28, E02B 13/00, A01G 25/00. Способ очистки дренажного стока и устройство для его осуществления / Кузнецов Е. В. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ». № 2012110440/05; заявл. 19.03.12; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3. – 8 с.

114. СТО НОСТРОЙ 2.33.20-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Ч. 1. Оросительные системы. Общие требования по проектированию и строительству [Электронный ресурс]. Введ. 2011-12-05. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

115. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85 [Электронный ресурс]. Введ. 2017-06-17. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

116. ВСН 33-2.2.03-86. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования [Электронный ресурс]. Введ. 1987-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

117. Красовская, Н.Н. Технический подход к локальной очистке дренажного стока / Н.Н. Красовская, Т.И. Дровозова // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.- практ. конф. (Шумаковские чтения), посвящ. 110-летию первого выпуска инженеров-мелиораторов в России, 01- 03 ноября 2023 г., Вып. 21. Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2023. – с. 21 – 26.

118. ГОСТ 20298-2022. Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2023-03-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

119. ГОСТ 20301-2022. Смолы ионообменные. Аниониты. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2023-03-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

120. Котов, Ю. А. Иониты и ионный обмен / Ю.А. Котов. - Л.: Химия, 1980. – 152 с.

121. Аширов, А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. - Л.: Химия, 1983. – 295 с.

122. НЦС 81-02-14-2023. Укрупненные нормативы цены строительства. Сборник № 14. Наружные сети водоснабжения и канализации [Электронный ресурс]. Введ. 2023-06-03. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

123. Об утверждении правил исчисления и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 31 мая 2023 г. № 881. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

124. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [Электронный ресурс]: Приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

125. О порядке утверждения методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 4 ноября 2006 г. № 639. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

126. Stuber, M. D. Optimal design of fossil-solar hybrid thermal desalination for saline agricultural drainage water reuse / M. D. Stuber, // *Renewable Energy*. – 2016. – № 89. – PP. 552 – 563 DOI: 10.1016/j.renene.2015.12.025.

127. Cerveira, G. Trends in Membrane Distillation for Wastewater Treatment / G. Cerveira, J. de Magalhães, de S. A. Antunes // *Journal of Environmental Protection*. – 2021. – № 12(2). – PP. 106 – 124. DOI: 10.4236/jep.2021.122008.

128. Husnain, T. Combined Forward Osmosis and Membrane Distillation System for Sidestream Treatment / T. Husnain, B. Mi, R. Riffat // *Journal of Water Resource and Protection*. – 2015. – № 7(14). – PP. 1111 – 1120. DOI: 10.4236/jwarp.2015.714091.

129. Lefebvre, O. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review / O. Lefebvre, R. Moletta // *Water Res.* – 2006. – № 40. – P. 3671 – 3682. DOI: 10.1016/J.WATRES.

130. Sahu, P. A comprehensive review of saline effluent disposal and treatment: Conventional practices, emerging technologies, and future potential / P. Sahu, // *Journal of Water Reuse and Desalination*. – 2020. – № 11(1). – P. 33 – 65. DOI: 10.2166/wrd.2020.065.

131. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges / L. F. Greenlee [and etc.] // *Water Res.* – 2009. – № 43(9). – P. 2317 – 2348. DOI: 10.1016/J.WATRES.2009.03.010.

132. Al-Sahali, M. Developments in thermal desalination processes: design, energy, and costing aspects / M. Al-Sahali, H. Ettouney // *Desalination*. – 2007. – № 214(1–3). – P. 227 – 240. DOI: 10.1016/J.DESAL.2006.08.020.

133. Removal of some heavy metals from inorganic industrial wastewaters by ion exchange method / S. M. Moosavirad [and etc.] // *J. Water Chem. Technol.* – 2015. – № 37. – P. 191 – 199. DOI:10.3103/S1063455X15040074.

134. Korngold, E. Electrodialysis of brine solutions discharged from an RO plant / E. Korngold, L. Aronov, N. Daltrophe // *Desalination*. – 2008. – № 242. – P. 215 – 227. DOI: 10.1016/J.DESAL.2008.04.008.

135. Electrodialysis desalination for water and wastewater: a review [Electronic version] / Al-Amshawee S. // *Chem. Eng.* 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719316250?via%3Dihub> (дата обращения: 26.04.2023).

136. Abdollahzadeh, E. Considering a membrane bioreactor for the treatment of vegetable oil refinery wastewaters at industrially relevant organic loading rates / E. Abdollahzadeh, A. Shourgashti, B. Bonakdarpour // *Bioprocess Biosyst. Eng.* – 2020. – № 43(12). – P. 981 – 995. DOI: org/10.1007/s00449-020-02294-9.

137. Osman, M. S. Computational and experimental study for the desalination of petrochemical industrial effluents using direct contact membrane distillation / M. S. Osman, V. Masindi, A. M. Abu-Mahfouz // *Appl. Water Sci.* – 2019. – № 9(2). – P. 1–13. DOI: 10.1007/s13201-019-0910-3.

138. Application of direct contact membrane distillation for saline dairy effluent treatment: performance and fouling analysis / S. Abdelkader [and etc.] // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2019. – 26(4). – P. 18979 – 18992. DOI: 10.1007/s11356-018-2475-3.

139. Susanto, H. Towards practical implementations of membrane distillation / H. Susanto // *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* – 2012. – № 50(2). – P. 139 – 150. DOI: 10.1016/J.CEP.2010.12.008.

140. Cath, T. Y. Forward osmosis: principles, applications, and recent developments / T. Y. Cath, A.E. Childress, M. Elimelech // *J. Membr. Sci.* – 2006. – № 281. – P. 70–87. DOI:10.1016/J.MEMSCI.2006.05.048.

141. Recent developments in forward osmosis: opportunities and challenges / S. Zhao [and etc.] // J. Membr. Sci. – 2012. – № 396. – P. 1 – 21. DOI: 10.1016/J.MEMSCI.2011.12.023.
142. Guidelines for drinking-water quality: Recommendations / World Health Organization. Geneva, 1983. – 271 p.
143. Witkowski, A. J. Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping / A. J. Witkowski, A. Kowalczyk, J. Vrba: IAH-Selected Papers. V. 11. London: Taylorand Francis, 2007. – 260 p.
144. Stansfury, M. Irrigation and water quality United States perspective / M. Stansfury // Trans. 14th cong. irrigate and drainage. – 1998. – 1(13). – PP. 585 – 594.
145. Panenko, N.N. Technical solutions for cleaning drainage water from irrigated areas / N.N. Panenko, T.I. Drovovozova, S.A. Mariach // IOP conference series: earth and environmental science. Krasnoyarsk science and technology city hall. Krasnoyarsk, Russian federation, 2021. C. 42094. URL: <https://www.scopus.com>
146. Wheaton, R. M. Fundamentals of Ion Exchange / R. M. Wheaton, L. J. Lefevre // Dow Chemical U.S.A. – June 2000. – 9 p.

Таблица Б.1 – Химические и физико-химические показатели воды в коллекторах за апрель–май 2019 г.

Показатель	Ед. изм.	Апрель – до подачи воды в магистральный канал					Май – после подачи воды в магистральный канал				
		К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4
рН	ед. рН	7,7	7,8	7,9	7,7	7,9	7,8	8,2	7,9	7,8	7,7
Взвешенные вещества	мг/дм ³	4,8	4,8	5,2	5,6	5,2	4,6	4,6	4,6	4,8	5,8
Минерализация	мг/дм ³	4152,0	2252,0	2212,0	2409,0	2419,0	1414,0	1182,0	1397,0	1129,0	844,0
Хлориды	мг/дм ³	1233,0	367,0	267,0	353,0	180,0	333,0	155,0	160,0	167,0	96,6
Сульфаты	мг/дм ³	1062,0	735,0	885,0	859,0	1106,0	345,0	345,0	503,0	319,0	257,0
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	449,0	446,0	400,0	452,0	446,0	307,0	332,0	336,0	307,0	243,0
Кальций	мг/дм ³	265,0	160,0	220,0	216,0	240,0	128,0	100,0	136,0	140,0	84,2
Магний	мг/дм ³	126,0	75,4	92,4	77,8	131,0	75,4	60,8	79,0	36,5	31,6
Натрий + калий (расчет)	мг/дм ³	1017,0	469,0	348,0	451,0	316,0	225,6	240,2	183,0	159,5	131,6
Жесткость	ммоль/дм ³	23,60	14,20	18,60	17,20	22,80	12,60	10,0	13,30	10,0	6,80
Железо общее	мг/дм ³	0,28	0,16	0,17	0,18	0,13	0,18	0,11	0,12	0,14	0,12
Медь	мг/дм ³	0,0000	0,0015	0,0046	0,0040	0,0018	0,0007	< 0,0006	0,0009	0,0008	0,0010
Цинк	мг/дм ³	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0005	< 0,0005	0,0034	0,0027	0,0028	0,0012
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,007	0,008	0,010	0,008	0,009	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.

Таблица Б.2 – Химические и физико-химические показатели воды в коллекторах за сентябрь–октябрь 2019 г.

Показатель	Ед. изм.	Сентябрь – после окончания поливного сезона					Октябрь – после прекращения подачи воды в магистральный канал				
		К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	БГ-МС-4
рН	ед. рН	8,0	7,9	7,8	8,1	8,1	7,8	7,9	8,0	7,7	7,4
Взвешенные вещества	мг/дм ³	8,8	7,6	6,4	5,6	5,2	5,2	13,6	4,6	15,2	4,6
Минерализация	мг/дм ³	770,0	960,0	1194,0	733,0	629,0	2982,0	1775,0	1831,0	2147,0	669,0
Хлориды	мг/дм ³	123,0	107,0	143,0	113,0	90,0	883,0	233,0	280,0	440,0	107,0
Сульфаты	мг/дм ³	195,0	266,0	398,0	177,0	142,0	921,0	717,0	752,0	814,0	212,0
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	225,0	291,0	291,0	225,0	214,0	412,0	445,0	343,0	445,0	231,0
Кальций	мг/дм ³	84,2	129,0	132,0	63,3	64,1	220,0	180,0	180,0	188,0	80,2
Магний	мг/дм ³	31,6	23,9	31,6	29,7	24,8	68,1	60,8	75,4	71,7	24,3
Натрий + калий (расчет)	мг/дм ³	111,2	143,1	198,4	125,0	94,1	477,9	139,2	200,3	188,3	14,5
Жесткость	ммоль/дм ³	6,8	7,6	9,2	5,6	5,24	16,6	14,0	15,2	15,3	6,0
Железо общее	мг/дм ³	0,28	0,16	0,17	0,18	0,13	0,40	0,35	0,29	0,35	0,33
Медь	мг/дм ³	0,0000	0,0002	0,0035	0,0039	0,0021	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
Цинк	мг/дм ³	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0005	< 0,0099	< 0,0005	0,0033	< 0,0060	0,0180
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,0060	0,0070	0,0100	0,0090	0,0090	0,0240	0,0330	0,0340	0,0320	0,0330

Таблица Б.3 – Химические и физико-химические показатели воды в коллекторах за июнь–июль 2021 г.

Показатель	Ед. изм.	Июнь				Июль			
		К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС
рН	ед. рН	7,45	7,56	7,55	7,52	7,75	7,80	7,59	8,00
Минерализация	мг/дм ³	1112,0	1006,0	1581,0	1410,0	991,0	678,0	1377,0	1355,0
Хлориды	мг/дм ³	237,0	140,0	180,0	220,0	215,0	104,0	167,0	233,0
Сульфаты	мг/дм ³	292,0	305,0	611,0	474,0	257,0	177,0	451,0	416,0
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	272,0	288,0	332,0	302,0	275,0	238,0	342,0	342,0
Кальций	мг/дм ³	83,3	83,3	135,0	121,0	99,2	87,3	135,0	107,0
Магний	мг/дм ³	45,7	43,3	62,5	44,5	31,3	19,2	57,8	45,7
Натрий + калий (расчет)	мг/дм ³	182,0	146,4	260,5	248,5	113,5	52,5	224,2	221,3
Жесткость	ммоль/дм ³	7,92	7,72	11,88	9,70	7,52	5,94	11,48	9,11
Нитриты	мг/дм ³	0,048	0,009	0,010	0,007	0,009	0,013	0,009	0,017
Нитраты	мг/дм ³	0,41	0,32	0,35	0,33	0,46	0,37	0,48	0,43
Фосфаты	мг/дм ³	0,43	0,48	0,42	0,55	0,38	0,46	0,50	0,62
Фосфор фосфатов	мгР/дм ³	0,14	0,16	0,14	0,18	0,12	0,15	0,16	0,20
Железо общее	мг/дм ³	0,14	0,08	0,09	0,11	0,11	0,07	0,03	0,04

Таблица Б.4 – Химические и физико-химические показатели воды в коллекторах за август–сентябрь 2021 г.

Показатель	Ед. изм.	Август				Сентябрь			
		К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС	К-3	ЛС-2	МКЛ-7	ЦС
рН	ед. рН	7,80	7,85	7,90	8,05	7,55	7,90	7,65	7,80
Минерализация	мг/дм ³	821,0	672,0	1120,0	845,0	808,0	1170,0	1314,0	761,0
Хлориды	мг/дм ³	177,0	111,0	160,0	160,0	163,0	139,0	170,0	142,0
Сульфаты	мг/дм ³	195,0	150,0	407,0	230,0	230,0	372,0	460,0	221,0
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	250,0	238,0	311,0	247,0	220,0	372,0	320,0	235,0
Кальций	мг/дм ³	87,3	62,2	135,0	71,4	91,3	115,0	127,0	63,5
Магний	мг/дм ³	45,7	17,6	65,1	28,9	24,1	50,6	67,4	31,3
Натрий + калий (расчет)	мг/дм ³	66,0	93,2	41,9	107,7	79,6	121,4	169,0	68,2
Жесткость	ммоль/дм ³	8,12	4,55	12,08	5,94	6,53	9,90	11,88	5,74
Нитриты	мг/дм ³	0,032	0,010	0,014	0,024	0,010	0,006	0,004	0,008
Нитраты	мг/дм ³	0,88	0,51	0,66	0,63	0,54	0,33	0,33	0,47
Фосфаты	мг/дм ³	0,33	0,20	0,31	0,49	0,22	0,30	0,25	0,28
Фосфор фосфатов	мгР/дм ³	0,11	0,06	0,10	0,16	0,07	0,10	0,08	0,09
Железо общее	мг/дм ³	0,09	< 0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,09	0,04

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Содержание основных солеобразующих ионов в воде открытых
коллекторов на территории Нижне-Донской оросительной системы**

Таблица В.1 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде коллектора
К3 в исследуемый период – 2019 г. и 2021 г.

дата	Един. измерения	СГ	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
02.04.2019	мг/дм ³	1233	1062	449	265	126	967	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	34,73	22,11	7,36	13,25	10,36	42,04	
	%	26,75	17,03	5,67	10,20	7,98	32,38	
14.05.2019	мг/дм ³	333	345	307	128	75,4	225,6	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	9,38	7,18	5,03	6,40	6,20	9,81	
	%	21,32	16,32	11,43	14,54	14,09	22,29	
06.09.2019	мг/дм ³	123	195	225	84,2	31,6	111,2	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	3,46	4,06	3,69	4,21	2,60	4,83	
	%	15,16	17,76	16,13	18,42	11,37	21,15	
16.10.2019	мг/дм ³	883	921	412	220	68,1	477,9	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	24,87	19,18	6,75	11,00	5,60	20,78	
	%	28,21	21,75	7,66	12,47	6,35	23,56	
01.06.2021	мг/дм ³	237	292	272	83,3	45,7	182	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	6,68	6,08	4,46	4,17	3,81	7,91	
	%	20,18	18,36	13,47	12,59	11,51	23,89	
30.06.2021	мг/дм ³	215	257	275	99,2	31,3	113,5	Cl ^{Ca-Na} _{II}
	моль экв./дм ³	6,06	5,35	4,51	4,96	2,61	4,93	
	%	21,34	18,84	15,88	17,46	9,19	17,36	
17.08.2021	мг/дм ³	177	195	250	87,3	45,7	66	Cl ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	4,99	4,06	4,10	4,37	3,81	2,87	
	%	20,62	16,78	16,94	18,06	15,74	11,86	
23.09.2021	мг/дм ³	163	230	220	91,3	24,1	79,6	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	4,59	4,79	3,61	4,57	2,01	3,46	
	%	19,96	20,80	15,68	19,84	8,73	15,02	

Таблица В.2 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде коллектора КЗ в 1972 г.

дата	Един. измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
апрель	мг/дм ³	1065	979,8	697,6	194,2	92,40	871,7	Cl ^{Na} _{II 3,344}
	моль экв./дм ³	30,00	20,40	11,43	9,71	7,60	37,90	
	%	27,17	18,48	10,35	8,79	6,88	34,33	
май	мг/дм ³	589,3	163,42	207,65	48,02	24,30	437,02	Cl ^{Na} _{II 1,366}
	моль экв./дм ³	16,60	3,40	3,40	2,40	2,00	19,00	
	%	35,47	7,27	7,27	5,13	4,27	40,60	
июнь	мг/дм ³	369,2	365,11	536,89	84,06	75,42	377,17	Cl ^{Na} _{II 1,807}
	моль экв./дм ³	10,40	7,60	8,80	4,20	6,20	16,4	
	%	19,40	14,18	16,41	7,84	11,57	30,59	
июль	мг/дм ³	724,2	835,65	837,32	131,93	87,53	644,19	Cl ^{Na} _{II 2,870}
	моль экв./дм ³	20,40	17,40	13,72	6,60	7,20	28,01	
	%	24,40	20,81	4,79	7,89	8,61	33,50	
август	мг/дм ³	1185,7	1037,34617	244,17	152,01	145,95	903,92	Cl ^{Na} _{II 3,390}
	моль экв./дм ³	33,40	21,60	4,00	7,60	12,00	39,30	
	%	28,30	18,30	3,39-	6,44	10,17	33,30	
сентябрь	мг/дм ³	837,8	701,39	341,63	148,05	123,99	602,64	Cl ^{Na} _{II 2,524}
	моль экв./дм ³	23,60	14,60	5,60	7,40	10,20	26,20	
	%	26,94	16,67	6,39	8,45	11,64	29,91	
октябрь	мг/дм ³	738,4	557,00	341,82	136,03	72,91	579,60	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	20,80	11,60	5,60	6,80	6,00	25,20	
	%	27,37	15,26	7,37	8,95	7,89	33,16	

Таблица В.3 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде коллектора ЛС-2 в исследуемый период – 2019 г. и 2021 г.

дата	Ед. измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
1	2	3	4	5	6	7	8	9
02.04.2019	мг/дм ³	367	735	446	160	75,4	468,6	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	10,34	15,31	7,31	8,00	6,28	20,37	
	%	15,29	22,64	10,81	11,83	9,29	30,13	
14.05.2019	мг/дм ³	1155	345	332	100	60,8	189,2	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	4,37	7,19	5,44	5,00	5,07	8,23	
	%	12,38	20,37	15,41	14,16	14,36	23,31	
06.09.2019	мг/дм ³	107	266	291	129	23,9	143,1	S ^{Ca-Na} _{II}
	моль экв./дм ³	3,01	5,45	4,77	6,45	1,99	6,22	
	%	10,79	19,54	17,10	23,13	7,13	23,30	

Продолжение таблицы В.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16.10.2019	мг/дм ³	233	717	445	180	60,8	139,2	S ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	6,56	14,94	7,30	9,00	5,07	6,05	
	%	13,41	30,54	14,92	18,40	10,36	12,37	
01.06.2021	мг/дм ³	140	305	288	83,3	43,3	146,4	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	3,94	6,35	4,72	4,17	3,61	6,37	
	%	13,51	21,78	16,19	14,30	12,38	21,84	
30.06.2021	мг/дм ³	104	177	238	87,3	19,2	52,5	C-S ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	2,93	3,69	3,90	4,37	1,60	2,27	
	%	15,61	19,66	20,78	23,28	8,52	12,15	
17.08.2021	мг/дм ³	111	150	238	62,2	17,6	93,2	C-S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	3,13	3,13	3,90	3,11	1,47	4,05	
	%	16,65	16,65	20,74	16,54	7,82	21,54	
23.09.2021	мг/дм ³	139	372	372	115	50,6	121,4	S ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	3,92	7,75	6,10	5,75	4,22	5,28	
	%	11,87	23,47	18,47	17,41	12,78	15,99	

Таблица В.4 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде коллектора ЛС-2 в 1972 г.

дата	Един. измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
1	2	3	4	5	6	7	8	9
апрель	мг/дм ³	426	821,10	371,98	147,94	69,92	506,10	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	12,0	17,10	6,10	7,40	5,75	22,04	
	%	17,05	24,29	8,66	10,51	8,17	31,32	
май	мг/дм ³	347,9	489,98	311,30	111,053	52,93	349,65	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	9,80	10,20	5,10	5,55	4,35	15,20	
	%	19,52	20,32	10,16	11,06	8,67	30,28	
июнь	мг/дм ³	284	519,86	839,36	90,14	33,32	119,21	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	8,00	10,82	13,75	4,51	2,74	5,18	
	%	14,39	25,54	10,07	8,99	15,11	25,90	
июль	мг/дм ³	667,4	816,24	366,30	135,92	94,84	625,43	Cl-S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	18,80	16,99	6,00	6,80	7,80	27,19	
	%	22,49	20,33	7,18	8,13	9,33	32,53	
август	мг/дм ³	880,4	797,23	317,38	112,02	97,24	759,03	Cl ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	24,8	16,60	5,20	5,60	8,00	33,00	
	%	26,61	17,81	5,58	6,01	8,58	35,41	
сентябрь	мг/дм ³	411,8	691,44	366,27	120,09	82,63	441,48	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	11,60	14,40	6,00	6,00	6,79	19,19	
	%	18,13	22,50	9,38	9,38	10,62	30,00	

Таблица В.5 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде
коллектора МКЛ-7 в исследуемый период – 2019 г. и 2021 г.

Дата	Ед. изм	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
1	2	3	4	5	6	7	8	9
02.04.2019	мг/дм ³	267	885	400	220	92,4	347,6	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	7,52	18,43	6,56	11,00	7,70	15,11	
	%	11,33	27,79	9,89	16,59	11,61	22,78	
14.05.2019	мг/дм ³	1160	503	336	136	79,0	327	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	4,51	10,48	5,51	6,80	6,58	14,21	
	%	9,38	21,79	11,46	14,14	13,68	29,55	
06.09.2019	мг/дм ³	123	195	225	84,2	31,6	111,2	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	3,46	4,06	3,69	4,21	2,63	4,83	
	%	15,12	17,74	16,13	18,40	11,49	21,11	
16.10.2019	мг/дм ³	280	752	343	180	75,4	200,6	S ^{Ca-Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	7,89	15,67	5,62	9,00	6,28	8,72	
	%	14,84	29,48	10,57	16,92	11,81	16,40	
01.06.2021	мг/дм ³	180	611	332	135	62,5	260,5	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	5,07	12,73	5,44	6,75	5,21	11,33	
	%	10,90	27,36	11,69	14,51	11,20	24,35	
30.06.2021	мг/дм ³	167	451	342	135	57,8	224,2	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	4,70	9,40	5,61	6,75	4,82	9,75	
	%	11,46	22,93	13,68	16,46	11,76	23,68	
17.08.2021	мг/дм ³	160	407	311	135	65,1	41,9	S ^{Ca} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	4,51	8,48	5,10	6,75	5,43	1,82	
	%	14,05	26,42	15,89	21,03	16,92	5,67	
23.09.2021	мг/дм ³	170	460	320	127	67,4	169,6	S ^{Na} _{II}
	МОЛЬ ЭКВ./дм ³	4,79	9,58	5,25	6,35	5,62	7,37	
	%	12,28	24,56	13,46	16,28	14,41	18,90	

Таблица В.6 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде коллектора
МКЛ-7 в исследуемый период – 1972 г.

дата	Един. измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
1	2	3	4	5	6	7	8	9
май	мг/дм ³	126,025	497,88	233,99	186,02	48,91	101,81	S ^{Ca} _{II 1165}
	моль экв./дм ³	3,55	10,37	3,83	9,30	4,02	4,43	
	%	10,00	29,20	10,80	26,20	11,33	12,47	
июнь	мг/дм ³	56,8	480,70	207,57	144,09	46,25	92,03	S ^{Ca} _{II 928}
	моль экв./дм ³	1,6	10,01	3,40	7,20	3,80	4,00	
	%	5,33	33,34	11,33	24,00	12,67	13,33	
июль	мг/дм ³	63,9	874,91	250,54	194,22	93,69	163,46	S ^{Ca} _{II 1546}
	моль экв./дм ³	1,8	18,22	4,11	9,71	7,71	7,11	
	%	3,67	37,14	8,37	19,80	15,71	14,49	
август	мг/дм ³	58,93	601,83	27,23	145,15	64,12	122,26	S ^{Ca} _{II 1174}
	моль экв./дм ³	1,66	12,53	0,45	7,26	5,27	5,32	
	%	4,65	35,10	10,25	20,33	14,77	14,89	
сентябрь	мг/дм ³	56,8	331,32	195,15	91,98	37,69	91,95	S ^{Ca} _{II 706}
	моль экв./дм ³	1,6	6,90	3,20	4,60	3,10	4,00	
	%	6,84	29,49	13,67	19,66	13,25	17,09	
октябрь	мг/дм ³	60,35	759,60	274,97	194,22	73,05	145,05	S ^{Ca} _{II 1346}
	моль экв./дм ³	1,7	15,82	4,51	9,71	6,01	6,31	
	%	3,86	35,91	10,23	22,05	13,64	14,32	

Таблица В.7 – Динамика содержания солеобразующих ионов в воде
коллектора БГ-МС-4 в исследуемый период – 2019 – 2021 гг.

дата	Един. измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	По Алекину
1	2	3	4	5	6	7	8	9
02.04.2019	мг/дм ³	180	1106	446	240	131	316	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	5,07	23,03	7,31	12,00	10,77	13,74	
	%	7,05	32,02	10,16	16,69	14,98	19,10	
14.05.2019	мг/дм ³	96,6	257	243	84,2	31,6	131,6	S ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	2,72	5,35	3,98	4,21	2,60	5,72	

Продолжение таблицы В.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	%	11,07	21,77	16,20	17,12	10,57	23,27	
06.09.2019	мг/дм ³	90	142	214	64,1	24,8	94,1	С ^{Na} _{II}
	моль экв./дм ³	2,54	2,96	3,51	3,21	2,04	4,09	
	%	13,83	16,13	19,13	17,48	11,12	22,32	
16.10.2019	мг/дм ³	107	212	231	80,2	24,3	14,5	S ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	3,01	4,41	3,79	4,01	2,00	0,63	
	%	16,88	24,73	21,20	22,46	11,19	3,53	
30.06.21г	мг/дм ³	111	372	311	127	48,2	126,8	S ^{Ca} _{II}
	моль экв./дм ³	3,13	7,75	5,10	6,35	3,96	5,51	
	%	9,83	24,36	16,03	19,97	12,47	17,34	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Содержание ионов токсичных и нетоксичных солей
на исследуемых орошаемых участках, прилегающих к коллекторам

Таблица Г.1 – Содержание ионов токсичных и нетоксичных солей (в числителе в %, в знаменателе – в ммоль на 100 г почвы) [82,83]

Коллектор	Исследуемый период	Гипотетические соли	Сумма ионов	Содержание ионов					
				HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К-3	весна	Токсичные: $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ NaHCO_3 Na_2SO_4 NaCl	<u>0,0391</u> 0,61	<u>0,0107</u> 0,175	<u>0,0133</u> 0,374	<u>0,0029</u> 0,061	–	<u>0,0015</u> 0,125	<u>0,01115</u> 0,485
		Нетоксичные: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	<u>0,0648</u> 0,8	<u>0,0488</u> 0,1	–	–	<u>0,016</u> 0,8	–	–
	осень	Токсичные: $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ NaHCO_3 Na_2SO_4 NaCl	<u>0,073</u> 1,002	<u>0,0307</u> 0,503	<u>0,0107</u> 0,303	<u>0,0094</u> 0,196	–	<u>0,0013</u> 0,108	<u>0,0206</u> 0,894
		Нетоксичные: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	<u>0,054</u> 0,672	<u>0,041</u> 0,672	–	–	<u>0,0134</u> 0,672	–	–
ЛС-2	весна	Токсичные: $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ Na_2SO_4 NaCl MgCl_2	<u>0,0359</u> 0,595	<u>0,0055</u> 0,09	<u>0,0144</u> 0,405	<u>0,0048</u> 0,1	–	<u>0,0027</u> 0,225	<u>0,0085</u> 0,37
		Нетоксичные: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	<u>0,0688</u> 0,85	<u>0,0518</u> 0,85	–	–	<u>0,0170</u> 0,85	–	–

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	осень	Токсичные: NaCl MgCl ₂	<u>0,0174</u> 0,331	–	<u>0,0117</u> 0,331	–	–	<u>0,002</u> 0,168	<u>0,0037</u> 0,163
		Нетоксичные: Ca(HCO ₃) ₂ CaSO ₄ CaCl ₂	<u>0,0791</u> 1,056	<u>0,0427</u> 0,7	<u>0,0050</u> 0,142	<u>0,0103</u> 0,214	<u>0,0211</u> 1,056	–	–
МКЛ-7	весна	Токсичные: Mg(HCO ₃) ₂ Na ₂ SO ₄ NaCl MgCl ₂	<u>0,042</u> 0,711	<u>0,0076</u> 0,125	<u>0,0176</u> 0,495	<u>0,0044</u> 0,091	–	<u>0,0039</u> 0,325	<u>0,0089</u> 0,386
		Нетоксичные: Ca(HCO ₃) ₂	<u>0,0628</u> 0,775	<u>0,0473</u> 0,775	–	–	<u>0,0155</u> 0,775	–	–
	осень	Токсичные: Na ₂ SO ₄ NaCl MgCl ₂	<u>0,0408</u> 0,72	–	<u>0,0214</u> 0,602	<u>0,0056</u> 0,118	–	<u>0,0032</u> 0,264	<u>0,0105</u> 0,456
		Нетоксичные: Ca(HCO ₃) ₂ CaSO ₄	<u>0,6717</u> 1,02	<u>0,6405</u> 1,05	–	<u>0,2072</u> 0,15	<u>0,024</u> 1,02	–	–
ЦС (юж- ный)	весна	Токсичные: Mg(HCO ₃) ₂ NaHCO ₃ Na ₂ SO ₄ NaCl	<u>0,0417</u> 0,637	<u>0,0137</u> 0,225	<u>0,0128</u> 0,360	<u>0,0026</u> 0,052	–	<u>0,0021</u> 0,175	<u>0,0106</u> 0,462
		Нетоксичные: Ca(HCO ₃) ₂	<u>0,0567</u> 0,7	<u>0,0427</u> 0,7	–	–	<u>0,014</u> 0,7	–	–
	осень	Токсичные: Mg(HCO ₃) ₂ NaHCO ₃ Na ₂ SO ₄ NaCl	<u>0,062</u> 0,903	<u>0,0242</u> 0,397	<u>0,0138</u> 0,39	<u>0,0056</u> 0,116	–	<u>0,0026</u> 0,216	<u>0,0158</u> 0,687
		Нетоксичные: Ca(HCO ₃) ₂	<u>0,0349</u> 0,432	<u>0,0263</u> 0,432	–	–	<u>0,0086</u> 0,432	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

**Среднеголетние климатические характеристики
за период 1966-2018 годы в Семикаракорском районе**



РОСГИДРОМЕТ
Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Северо-Кавказское управление
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды»
(ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС»)
Бржезская ул., д. 177, г. Ростов-на-Дону, 344025
Тел./факс (8 863) 251 48 09; 251 59 27
Телеграфный адрес: УГМС
E-mail: skc-ugms@yuzhmeteo.donpac.ru
skcugms@yuzhmeteo.donpac.ru
ОГРН 1126193008523
ИНН 6167110026 КПП 616701001

И.о. директора
НИМИ им. А.К. Кортунова
ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»
Таран С.С.

19.08. 2019 № 114-16/3810

На № _____ от _____

В соответствии с Вашим запросом направляем климатические характеристики за период 1966-2018 годы по данным метеорологических наблюдений в городе Семикаракорске (ближайший пункт наблюдений).

Характеристика	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Средняя относительная влажность воздуха, %	84	82	77	66	63	63	59	57	65	75	84	87
Средний дефицит влажности воздуха, мб	0,7	0,9	1,9	5,6	8,8	11,3	14,3	14,5	8,3	3,5	1,3	0,7
Средняя температура воздуха, °С	-4,4	-3,7	1,9	10,6	16,8	20,9	23,4	22,5	16,5	9,2	2,9	-1,7
Среднее количество осадков, мм	43	32	35	34	45	50	45	35	41	38	40	52

Справка используется только в целях НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» и не подлежит передаче другим организациям.

Начальник учреждения

В.И. Лозовой

Частникова Людмила Сергеевна
8 (863) 293 00 02



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Акты внедрения результатов НИР



УТВЕРЖДАЮ

Директор Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ
Мельник Т.В.

« 10 » октября 2023 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы по теме
«Совершенствование технологии очистки дренажных вод с орошаемых земель»
Красовской Натальи Николаевны в учебный процесс

Основные результаты диссертационной работы Красовской Н.Н. используются в учебном процессе кафедры мелиорации земель в учебных дисциплинах «Проектирование мелиоративных систем» и «Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем» для направления подготовки 35.03.11 – Гидромелиорация (уровень бакалавриата) и «Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации» и «Эксплуатация мелиоративных систем и принятие управленческих решений» для направления подготовки 35.04.10 – Гидромелиорация (уровень магистратуры).

На основании решения учебно-методического совета Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ от 10 октября 2023 г., протокол № 1 основные результаты диссертационного исследования (способ эколого-гидрохимической оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, технология ионообменной очистки дренажных вод в зависимости от их исходного качества с установлением взаимосвязи объема очищаемого дренажного стока с концентрацией адсорбируемых ионов и объемом ионообменного материала, конструкция энергонезависимых, малогабаритных локальных сооружений очистки дренажного стока с орошаемого участка, сопряженная с дренажным колодцем) включены в курсы лекций вышеуказанных учебных дисциплин.

Зам. директора по учебной работе
и цифровой трансформации

Е.А. Носкова

Секретарь учебно-методического совета
НИМИ Донской ГАУ

В.Н. Полякова

«10» октября 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ
 Директор Семикаракорского филиала
 ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»
 И.В.Гуров
 « 11 » 2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы
 Красовской Натальи Николаевны на соискание ученой степени кандидата
 технической наук по научной специальности
 4.1.5 Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

1. Наименование организации и объекта внедрения: Семикаракорский филиал ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».
2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось: 2.1.14 «Провести исследования и разработать нормативные документы по оценке состояния деградации сельскохозяйственных земель и использованию дренажных вод» по государственному заданию Минсельхоза России на 2022-2024г.г.
3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия: ФГБНУ «РосНИИПМ».
4. Срок внедрения: 2023 г.
5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия: внедряется методика оценки качества дренажных вод с орошаемых земель, критерии оценки их качества; технология ионообменной очистки дренажных вод, конструкция локальных очистных сооружений (ЛОС) очистки дренажного стока с орошаемого участка, сопряженная с дренажным колодцем.
6. Основные показатели внедряемого мероприятия:
 - а) производительность - 50 м³/час;
 - б) сезонная производительность очистного сооружения - 73,2 тыс. м³;
 - в) себестоимость 1 м³ очищенной воды: 5,47 руб;
 - г) капитальные вложения - 1399 тыс. руб,
 - эксплуатационные затраты - 400,61 тыс. руб,
 - удельные затраты по внедряемому варианту - 5,5руб/м³;
 - г) удельные предотвращенные платежи за сброс неочищенных дренажных вод - 7,1 руб./м³.
 Фактический сезонный эффект от внедрения предлагаемых ЛОС составит 117,12 тыс. руб или 1,6 руб/м³.

Инженер по охране
 окружающей среды (эколог)
 ФГБУ «Управление «Ростовмелтоводхоз»

И.И. Небежко

Разработчик

Н.Н. Красовская