

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кубанский государственный аграрный  
университет им. И.Т. Трубилина»**

На правах рукописи



**Килиди Харламппий Иванович**

**ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ СИСТЕМ  
КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИМИ  
ВОДОЗАБОРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА ГОРНЫХ РЕКАХ**

**4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика**

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Научный руководитель, д-р техн. наук,  
доцент Хаджиди Анна Евгеньевна

Краснодар – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА	9
1.1 Анализ режимов капельного орошения	9
1.2 Анализ фильтрующих водозаборов для горных условий эксплуатации систем орошения	16
1.3 Анализ устройства фильтров для водозаборов горных рек	18
ВЫВОДЫ по разделу 1	25
2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ЯБЛОНЕВОГО САДА НА ГОРНЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ	27
2.1 Разработка проекта реконструкции системы капельного орошения ООО «Мускат» для горных условий	27
2.2 Исследования качества воды р. Белая	31
2.3 Влияние орошения на корневую систему яблонь	36
2.4 Методика исследования режима капельного орошения	40
2.5 Результаты исследование динамики увлажнения почвогрунта при капельном поливе садов	43
ВЫВОДЫ по разделу 2	53
3. РАЗРАБОТКА ШКАЛЫ РИСКОВ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРА ОТ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ	55
3.1 Природные факторы, влияющие на мелиоративный водозабор	55
3.1.1 Гидрологический режим водного источника. Межень и паводок	55
3.1.2 Морфология и геология русла реки	57
3.1.3 Режим наносов	58

3.2	Антропогенные факторы	61
3.2.1	Защита гидробионтов	61
3.2.2	Защита от наносов	66
3.2.3	Захват воды	66
3.2.4	Влияние уровня	67
3.3	Обоснование рисков для выбора типа мелиоративного водозабора	68
3.4	Разработка бальной шкалы рисков мелиоративного водозабора	75
	ВЫВОДЫ по разделу 3	82
4	РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРАЦИОННОГО МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ	84
4.1	Разработка модели для исследования ФМВ	84
4.2	Лабораторные исследования конструкции ФМВ	85
4.3	Разработка ковшового фильтрационного мелиоративного водозабора системы капельного орошения на р. Белая	91
4.4	Методика расчета ковшового мелиоративного фильтрационного водозабора	95
4.5	Методика расчета длины фильтрующих трубопроводов мелиоративного водозабора системы капельного орошения	97
4.6	Методика расчета перфорированного трубопровода для промывки фильтра	99
	ВЫВОДЫ по разделу 4	102
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	104
	Рекомендации производству	106
	Перспективы дальнейшей разработки темы	107
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	108
	ПРИЛОЖЕНИЯ	122

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Систему капельного орошения удобно применять для орошения садов и виноградников на горных агроландшафтах, где имеются небольшие участки местности. Как правило эти участки располагаются рядом с водотоками, горными реками, имеющими небольшой дебит. Дефицит водных и земельных ресурсов на горных ландшафтах обусловлен факторами, к которым можно отнести значительную трудность забора воды из горных рек, где уровни колеблются в широком диапазоне в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур, большие скорости потока, перемещение донных наносов, ограничивающие выбор адаптированной конструкции водозаборов, ограничения размеров агроландшафтов по площади с плодородными землями и наличие больших уклонов склонов местности и др. Пики паводков приходится на весну и начало лета, когда необходимо подавать воду на орошение культур, и она в избытке. Но при это возникает трудность забора воды на орошение из-за больших скоростей, влекомых наносов по дну реки. Берега перерабатываются, русло реки постоянно меняет своё положение в пределах поймы. Эти факторы определяют дефицит воды при её избытке.

В горной местности этот вопрос, подачи воды растениям, недостаточно изучен из-за условий подачи по геологическим и гидрологическим причинам. В известной литературе, связанной с проектированием систем капельного орошения, отсутствует опыт их применения на территориях с учётом фильтрующего подстилающего слоя в почвенном профиле. Что потребовало в диссертации разработать подходящую методологию исследования распространения влажности при поливе.

Исследования проводились соответствии с планами НИР Кубанского ГАУ по темам № АААА-А16-116022410039-5 на 2016-2020 гг. и № ГР 121032300057-2 на 2021-2025 гг. Исследования внедрены в проекты систем гидромелиорации, реализованных в рамках Государственной программы развития мелиорации согласно постановления Российской Федерации от 14 мая 2021 года N 731.

**Степень разработанности темы.** Разработке систем капельного орошения посвящены труды ученых М.С. Григорова, А.С. Овчинникова, В.В. Бородычева, Е.В. Кузнецова, В.П. Мещеряков, О. Ясониди, где, в основном, рассматриваются вопросы режима капельного орошения для сельскохозяйственных культур на почвогрунтах, не имеющих дренажного слоя. Разработкой конструктивных и технологических параметров водозаборных сооружений для мелиоративных систем занимались известные ученые: П.А. Михеев, А.С. Образовский, М.Г. Журба, И.А. Лушкин, В.В. Петрашкевич, А. С. Штанько, Е.Д. Хецуриани и др., однако разработке и исследованию фильтрующих водозаборных сооружений, которые адаптированы к условиям горных водных источников со сложным гидрологическим режимом, в научной литературе уделено недостаточно внимания.

**Цель исследований.** Повысить водообеспеченность системы капельного орошения фильтрующим мелиоративным водозабором на реке Белая в условиях Майкопского района Республики Адыгея.

**Объект исследования.** Почвогрунт на дренажном слое; фильтрующий ковшовый водозабор.

**Предмет исследований.** Зависимости движения влаги в почвогрунте на дренажном слое; конструктивно-технологические параметры ковшового фильтрующего водозабора.

**Задачи исследования:**

- исследовать движение влаги на физической модели почвогрунта на дренажном слое агроландшафта;
- обосновать режим капельного орошения интенсивного яблоневого сада на почвогрунтах с дренажным слоем;
- обосновать методику выбора конструкции мелиоративного водозабора для сложных условий горных рек;
- разработать новую конструкцию ковшового фильтрующего мелиоративного водозаборного сооружения, адаптированного к природным и техногенным условиям реки Белая;

- разработать методику гидравлического расчета ковшового фильтрующего мелиоративного водозаборного сооружения.

**Научная новизна результатов исследования:**

- выявлены новые закономерности движения влаги в толще 0,8-1,0 м почвогрунта на дренажном слое при капельном орошении;

- разработан новый ковшовый фильтрующий мелиоративный водозабор для устойчивого забора и гарантированной подачи воды в систему капельного орошения для горных условий реки Белая;

- разработана факторная балльная шкала оценки выбора мелиоративных водозаборов для горных рек систем капельного орошения;

- разработана методика гидравлического расчета основных параметров нового ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора;

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Процесс движения влаги в почвогрунтах на дренажном слое при капельном орошении описан математически, что влечет за собой экономию водных ресурсов; новых технических и конструктивных решениях для мелиоративного комплекса, включающих забор воды из горных рек в сложных гидрологических условиях.

Практическая значимость заключается в обосновании режима орошения и получении расчетных зависимостей для определения поливных норм и времени полива почвогрунтов на дренажном слое для интенсивного яблоневого сада, позволяющий повысить водообеспеченность системы капельного орошения до 10 %; разработке методики выбора типа мелиоративного водозабора по факторной балльной шкале оценивания на основе интегрального показателя рисков; разработке новой конструкции фильтрующего мелиоративного водозабора, адаптированного к условиям реки Белая, которая обеспечивает требуемый дебит в межень, механическую очистку воды и охрану молоди рыб от гибели.

Подтверждение новизны технических решений осуществляется патентами РФ на изобретения № 2732496 С1, № 2732106 С1.

**Реализация результатов исследований.** Результаты диссертации внедрены в ООО КХ «Мускат» Майкопского района Республика Адыгея, ООО «Южные

земли» Крымского района Краснодарского края и в учебный процесс по образовательной программе «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» (направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование) на факультете гидромелиорации Кубанского ГАУ.

**Положения, выносимые на защиту:**

- закономерности, моделирующие движение влаги в почвогрунте толщиной 0,8-1,0 м на фильтрующем основании, при капельном орошении;
- расчетные зависимости для определения поливных норм и времени полива почвогрунтов на дренажном слое для интенсивного яблоневого сада;
- методику выбора типа мелиоративного водозабора по факторной балльной шкале оценивания на основе интегрального показателя рисков;
- методику гидравлического расчета основных параметров ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора;
- конструкцию адаптированного фильтрующего мелиоративного водозабора для системы капельного орошения для условий горной реки Белая.

**Степень достоверности научных результатов и выводов** подтверждается методами математической обработки результатов экспериментов с использованием программных продуктов MS Excel 2010 и Statistica-10. Значительным объемом опытных данных, их статистической обработкой и внедрением полученных результатов.

**Апробация результатов работы.** Результаты исследований доложены на ежегодных научно-практических конференциях Кубанского ГАУ по итогам НИР в 2020-22 гг.; «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии» в 2023 г.; VII Международной научной экологической конференции Кубанского ГАУ «Экология речных ландшафтов» 2022 г., Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, 2022 г.: Всероссийской научно-практической конференции «Год науки и технологий 2021» 2021 г.; Национальная конференция «Стратегии и векторы развития АПК», посвященная 100-летию Кубанского ГАУ. Краснодар, 2021; 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness «E3S

Web of conferences» 24–26 февраля 2021 г., 8TH Innovative technologies in science and education, itse 2020 Rostovon-Don, 19-30 августа 2020 г.; Международная научно-практическая конференция «Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее», посвященная 55-летию эколого-мелиоративного факультета. Волгоград, 2020.

**Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в работе,** заключается в проведении научно-практического анализа конструкций и способов забора воды для систем капельного орошения в горных условиях, разработке и исследовании физической модели фильтрующего водозабора; разработке методики рисков при выборе конструкции водозаборного сооружения для систем капельного орошения; исследовании по распространению влаги в почве на фильтрующем основании на лизиметре, создании математической модели и программы формирования контуров распространения влаги.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 19 научных работ, в том числе 2 статьи в международных базах данных, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 патента, 11 статей в других изданиях РИНЦ. Общий объем публикаций составляет 8,44 п. л., из них личный вклад автора – 2,66 п. л.

**Структура и объём диссертационной работы.** Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы, приложения. Работа изложена на 131 страницах компьютерного текста, включает в себя 33 рисунков, 20 таблиц и 3 приложения. Список литературы состоит из 100 наименований.

## **1. АНАЛИЗ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Систему капельного удобно применять для орошения садов и виноградников на горных агроландшафтах, где имеются небольшие участки местности с большими уклонами, недостаточным плодородием земель. Как правило эти участки располагаются рядом с водотоками, горными реками, имеющими небольшой дебит. Пики паводков приходятся на весну и начало лета, года необходимо подавать воду на орошение культур, и она в избытке. Но при это возникает трудность забора воды на орошение из-за больших скоростей, влекомых наносов по дну реки. Берега перерабатываются, русло реки постоянно меняет своё положение в пределах поймы. Эти факторы определяют дефицит воды при её избытке.

Все эти факторы приходится учитывать при устройстве мелиоративного водозабора, а, следовательно, остаются не решенными или не до конца решенными вопросы об обустройстве систем орошения на горных агроландшафтах.

Другим важным вопросом является подача воды растениям. Имеется достаточно много исследований по движению влаги в почве, её подаче к растениям по трубам и распределения по капельницам на. В горной местности этот вопрос недостаточно изучен из-за условий подачи её растениям и по геологическим причинам, формирования почвенных разрезов. Поэтому для исследования подачи воды, движения влаги в почве выполним анализ, на наш взгляд, научных работ близких к условиям применимости для горных агроландшафтов.

### **1.1 Анализ режимов капельного орошения**

Эффективность эксплуатации мелиоративных систем зависит от обоснованного выбора режима орошения, который определяет энергоёмкость, объем забора воды, качество полива, эколого-экономическую эффективность капельного орошения, особенно в условиях горной местности. Исследованию режима капельного орошения садов и виноградников посвящены работы, где следует отметить труды

И.П. Кружилина, М.С. Григорова [40-45] А.И. Голованова [49], Б.С. Маслова, Е.В. Кузнецова [71-73], А.Д. Гумбарова, В.В. Бородычева [22-24], В.Н. Щедрина, А.С. Овчинникова, М.Ю. Храброва и других ученых [1, 6, 9, 17, 18, 27, 50, 51, 53, 74-76]. В основе исследований отмечается, что движение влаги при капельном орошении происходит от центра подачи воды капельницей к периферии с формированием очага увлажнения в почве. Однако, по данному утверждению следует заметить, что размер очага, скорость увлажнения, объём подачи, температура воды и др., зависят от многих факторов, которые следует учитывать для каждого конкретного случая, адаптировано с учетом климатических и антропогенных факторов, территориального расположения объекта, гидрологических особенностей источников орошения, геологии, культуры орошения.

Режим орошения и площадь полива определяют мощность и расход воды для системы капельного орошения, которые с учетом гидрологических, морфологических характеристик источника определяет тип и геометрические размеры мелиоративного водозаборного сооружения. Следовательно, режим орошения является основным параметром системы, где расчет поливной нормы является одной из приоритетных задач исследования.

Расчет расхода воды мелиоративного водозабора (МВ) для СКО определяется по формуле:

$$Q = (MF) / t, \quad (1.1)$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/час;  $m_k$  – Оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;  $F$  – площадь СКО, га;  $t$  – продолжительность полива овощных культур, час.

Европейские и американские исследователи считают, что полив культур должен выполнять ежедневно [30, 51, 98], и предлагают поливную норму  $m$  рассчитывать по формуле:

$$m_c = 10 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot E, \quad (1.2)$$

где  $m_c$  – суточная норма полива, м<sup>3</sup>/ га · сут.;  $k_1$  – коэффициент, равный отношению эвапотранспирации к испаряемости, зависящий от почвы, климата района,

вида растений, фазы их развития, принятой схемы размещения растений и капельниц, мм/сут;  $k_2$  – коэффициент, характеризующий потери на испарение во время полива, мм/сут;  $k_3$  – коэффициент, учитывающий затраты воды на промывку, мм/сут.

Классической формулой для поливной нормы  $m$  следует считать зависимость академика М.С. Григоров [43]:

$$m = 100 h \varphi_{об} (\beta_в - \beta_н), \quad (1.2)$$

где  $\varphi_{об}$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $h$  – глубина увлажнения слоя почвы, м;  $(\beta_в - \beta_н)$  – соответственно верхняя и нижняя граница оптимального увлажнения.

Формула справедлива для сплошного сева культур, т.к. не учитывает расстояния междурядий деревьев плодовых культур.

И.С. Флорце [39] для овощных культур предложил формулу для определения  $m$ :

$$m = q t n, \quad (1.3)$$

где  $q$  – расход капельницы, л/час;  $t$  – продолжительность полива овощных культур, час;  $n$  – число капельниц.

Из формулы (1.3) можно определять время полива культур, зная поливную норму, которую можно вычислить из известных зависимостей, например, (1.2).

Ю.А. Скобельцын и В.М. Чаусов для виноградников рекомендуют вычислять поливную норму по формуле:

$$m = 0,785 d^2 (h - 0,15) a 0,1, \quad (1.4)$$

где  $d$  – расстояние между кустами;  $h$  – глубина активного слоя почвы, м;  $a$  – объемная масса почвы, т/м<sup>3</sup>.

Данная формула рекомендована при ширине междурядий 2,0-2,5 м и расстоянии между кустами 1,0-1,5 м на средних почвах по механическому составу.

При исследовании движения влаги под капельницей следует учитывать баланс подачи и впитывание воды в почву. В данном направлении следует отметить исследования ученых ВНИИПМ (г. Новочеркасск), А.Д. Гумбарова, Е.В. Кузнецова, которые описывают движение влаги в почве под капельницей в виде общего выражения:

$$m = k f(a, h, \Delta\beta), \quad (1.5)$$

где  $m$  – поливная норма культуры,  $k$  – коэффициент, который учитывает проекцию кроны, фиктивные диаметры контуров увлажнения, долю площади увлажнения и др.;  $a$  – плотность почвы;  $h$  – глубина промачивания почвы;  $\Delta\beta$  – дефицит влаги в почве.

ВНИИПМ предлагает рассчитывать поливную норму с учетом количества капельниц на поливном трубопроводе:

$$m = \alpha_1 A_1 R^2 H \Delta\beta, \quad (1.6)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, учитывающий число капельниц, подающих воду в очаг;  $A_1$  – коэффициент, зависящий от формы очага увлажнения и изменяющийся от 0,6 до 0,75;  $R$  – радиус горизонтальной проекции очага увлажнения, м;  $\Delta\beta$  – разность между полной и предполивной влагоемкостью почвы, %.

Формула (1.6) не учитывает плотность почвы, что вызывает сомнение при учете количества воды растениям. Следует считать, что плотность почвы в (1.6) равна единице. А также её нельзя применять для предгорной территории, т.к. не учитывает уклоны местности.

Зависимость А.Д. Гумбарова для вычисления  $m$  учитывает плотность почвы и имеет вид:

$$m = 5,24 D^2 H \alpha \Delta r K_v, \quad (1.7)$$

где  $m$  – поливная норма, л;  $D$  – диаметр горизонтальной проекции кроны, м;  $H$  – мощность корнеобитаемого слоя, м;  $\alpha$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $\Delta r = r_{нв} - r_{мин}$ ;  $r_{нв}$  – влажность почвы, соответствующая НВ, %;  $r_{мин}$  – предполивной порог влажности, %;  $K_v$  – коэффициент увлажнения объема.

Следует считать, что (1.7) наиболее взвешенно определяет поливную норму для садов, чем зависимость (1.6), т.к. учитывает предполивной порог влажности, а также объем увлажнения почвы под капельницей. Недостатком данной формулы, на наш взгляд, следует считать, что трудно вычислять коэффициент увлажнения объема.

Наиболее точная формула для определения поливной нормы сада предлагается Е.В. Кузнецовым, которая учитывает переход влажности в очаге увлажнения от одной зоны к другой через влагоемкость почвы:

$$m_k = K R_o^2 H_1 \Delta\beta_1 + K_1 R_k^2 H_2 \Delta\beta_2, \quad (1.8)$$

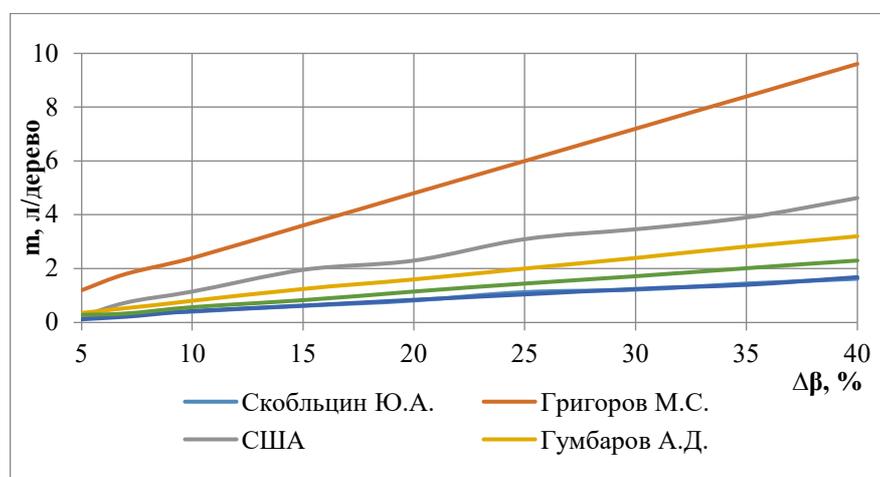
где  $m_k$  – поливная норма при капельном режиме орошения, м<sup>3</sup>/га;  $R_o$  – радиус очага увлажнения, м;  $R_k$  – радиус контура увлажнения, м;  $H_1$  – глубина распространения очага, м;  $H_2$  – глубина активного корнеобитаемого слоя, м;  $\Delta\beta_1 = \beta_{нв} - \beta_{кв}$ ;  $\Delta\beta_2 = \beta_{нв} - \beta_{кр}$ ;  $K$  и  $K_1$  – эмпирические коэффициенты, приводящие контуры увлажнения к форме цилиндра;  $\beta_{нв}$ ;  $\beta_{кв}$ ;  $\beta_{кр}$  – влагоемкость почвы: соответственно – полная, наименьшая и «критическая» (влажность завядания) влагоемкости.

Выполнен анализ аналитических зависимостей (1.5-1.8) по расчету поливной нормы при капельном орошении.

Таблица 1.1 – Определение зависимости  $m$  от  $\Delta\beta$ 

$\Delta\beta, \%$	$m, \text{л/дерев}$					
	Скобель- цын Ю.А.	Григоров М.С.	США	Гумбаров А.Д.	Кузнецов Е.В.	ВНИ- ИПМ
5	0,21	1,2	0,21	0,35	0,12	0,28
7	0,32	1,8	0,74	0,53	0,21	0,33
10	0,406	2,4	1,15	0,8	0,42	0,57
15	0,62	3,6	1,95	1,25	0,63	0,83
20	0,813	4,8	2,3	1,6	0,84	1,15
25	1,13	6	3,1	2	1,04	1,44
30	1,218	7,2	3,46	2,4	1,25	1,72
35	1,44	8,4	3,9	2,82	1,4	2,02
40	1,624	9,6	4,62	3,2	1,68	2,3

Результаты анализа зависимостей (1.5-1.8) для  $m$  от  $\Delta\beta$  при постоянных параметрах глубины увлажнения корнеобитаемого слоя почвы 0,6м, радиуса очага увлажнения 0,4м, плотности почвы 1,2 т/м<sup>3</sup> представлены на рисунке 1.6.

Рисунок 1.1 – Зависимости  $m$  от  $\Delta\beta$ 

Исследования Е.В. Кузнецова, Ю.А. Скобельцына и ВНИИПМ практически дают одинаковый результат поливной нормы для садов при посадке 3,0 тыс. деревьев на 1 га площади орошения и  $\Delta\beta = 5-40 \%$ , расхождения по  $m_k$  не превышает 20-30 %. Результаты, полученные по зависимости (1.1), следует корректировать, т.к. необходимо учитывать транспирацию и испаряемость с поверхности почвы,

что при эксплуатации СКО затруднительно. Исследования поливных норм, выполненные Е.В. Кузнецовым, А.Д. Гумбаровым, Ю.А. Скобельцыным и ВНИИПМ, будут учитываться при обосновании режима орошения садов в условиях предгорной зоны Северного Кавказа, т.к. они наиболее адаптированы и полно отражают процессы перемещения влаги в почве для обеспечения наилучшей потребности растений в оросительной воде, а также использоваться при определении захвата воды в мелиоративный водозабор.

При обосновании параметров магистральных трубопроводов применяется формула Дарси-Вейсбаха, а для участковых и поливных трубопроводов используется гидравлика переменной массы. Для систем КО при движении жидкости с переменной массой применяется формула *Williams-Hazen* [19] и формула *Gillevie*.

При расчете полиэтиленовых поливных трубопроводов используется формула Е.В. Кузнецова [68] для поливных полиэтиленовых трубопроводов диаметром от 0,012 до 0,020 м:

$$h_f = a(v - n) \cdot \frac{LV^{1,75}}{D^{1,25}}, \quad (1.9)$$

где  $a$  и  $v$  – постоянные и безразмерные коэффициенты, учитывающие влияние нишпелей капельниц на движение жидкости в трубопроводе;  $n$  – количество капельниц на трубе длиной  $L$ , м;  $V$  – скорость в начале трубы, м/с.

Для поливных трубопроводов, когда число капельниц изменяется от 30 до 65 шт. коэффициенты,  $a$  и  $v$  принимают значения:  $a = 0,292 \cdot 10^{-4}$  и  $v = 84,974$ . Когда число капельниц на трубопроводе изменяется от 66 до 250 шт. –  $a = 0,74 \cdot 10^{-6}$  и  $v = 863,75$ . Из формулы (1.9) видно, что при расчетах трубопроводов имеется зона «гидравлически гладких труб». Коэффициенты,  $a$  и  $v$  необходимо определять в данной зоне сопротивления, но с учетом гидравлики переменной массы. Для расчета распределительных трубопроводов СКО интенсивного сада в ООО «Мускат» необходимо уточнить формулу (1.9), т.к. отделение потока происходит дискретно.

**Выводы.**

1. Анализ режима орошения показывает, что для каждого конкретного случая необходимо уточнять поливные нормы, которые зависят от культуры, типа почвы и природно-климатических факторов региона строительства системы капельного орошения.

2. Величина поливной нормы и количество поливов определяют объём подачи воды в систему капельного орошения.

3. Объёмы подачи воды в систему капельного орошения, так и геологические, морфологические и гидрологические условия влияют на выбор типа и конструкции мелиоративного водозабора.

## **1.2 Анализ фильтрующих водозаборов для горных условий эксплуатации систем орошения**

Основной причиной выбора типа фильтрующих водозаборов послужили природные и антропогенные факторы. К основным природным факторам относятся колебание уровня воды горных из-за паводков, движения донных наносов по дну, в следствие больших уклонов, геологическое строение откосов и дна русла горной реки, устойчивость берегов, небольшие глубины, большие скорости воды. К антропогенным факторам относятся частая промывка всасывающих труб водозабора, большие энергозатраты, крепление берегов реки в месте водозабора, устройство отстойников и др.

Все эти факторы определяют тип и конструкцию мелиоративного водозабора.

*Основные типы водозаборов для горных ландшафтов.* В горных условиях СКО представляют более сложный мелиоративный комплекс чем аналогичные системы КО на равнинных территориях, где наиболее трудной задачей при их эксплуатации является добыча воды из источников орошения [2]. Имеются различные конструкции водозаборных сооружений для забора поверхностных вод из рек. Выбор типа и конструкции водозабора определяются природными и антропогенными

факторами: гидрологическим режимом источника; морфологией и геологией русла; режим наносов; биологическими ресурсами и др. в створе водозабора [38].

Для горных участков рек используются донные галереи (рисунок 1.2) с отводом наносов в сторону от реки [5].



а - сводообразная; б - овоидального сечения с отверстиями в стенке

Рисунок 1.2 – Донные галереи

Данные конструкции водозабора дорогие в эксплуатации и требуют регулярной утилизации больших масс наносов. Устройство таких сооружений в русле реки требует значительных затрат.

Ковшовые водозаборы устраиваются в заводях на предгорных участках рек [80], где уровни воды стабильны и не имеется крупных наносов в потоке. Схема ковшового водозабора приводится на рисунке 1.3.

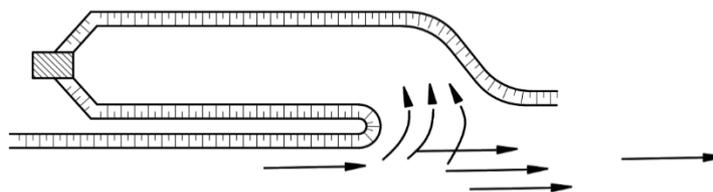
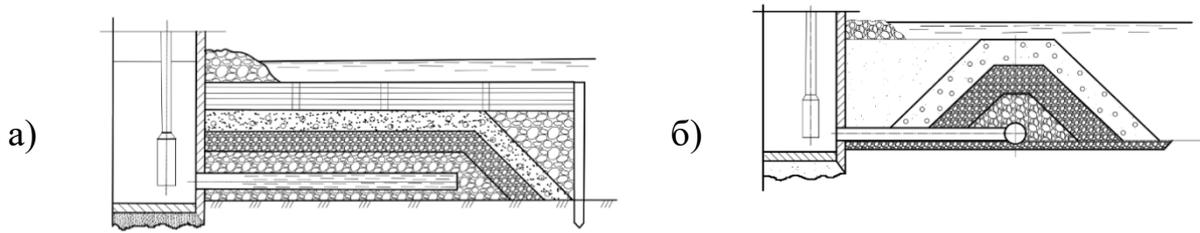


Рисунок 1.3 – Ковшовый водозабор

При устройстве данного водозабора на предгорных участках рек требуется постоянный контроль ограждающих сооружений от размыва, а выполнять ограждающие сооружения из ж/б дорого и не малоэффективно, по причине гидробиологических показателей. На входе воды в сооружение необходимо соблюдать гидробиологические нормы по защите молоди рыб.

Инфильтрационные водозаборы наиболее эффективные конструкции. Принципиальная схема инфильтрационного водозабора даётся на рисунке 1.4.



а – фильтрующая дрена; б – фильтрующая призма-откос  
Рисунок 1.4 – Схема инфильтрационного водозабора

Инфильтрационные водозаборы в руслах устраиваются, когда русло реки сложено песчано-гравелистыми грунтами с высокими коэффициентами фильтрации. Однако, конструкции водозаборов требуют значительных затрат при эксплуатации, а также требуют предварительных испытаний по обустройству фильтрующих касет (фильтров). На выбор таких водозаборов оказывает влияние геологическое строение дна и морфология русла. На наш взгляд, устройство таких водозабор на горных участках рек является не обоснованным и могут эффективно решать задачи только по защите гидробионтов. Недостатками данной конструкции водозаборов являются: большие сопротивления движению потока в русле, подпоры; при паводках конструкции могут размываться; при низких уровнях приток воды в приемную камеру ограничен.

### 1.3 Анализ устройства фильтров для водозаборов горных рек

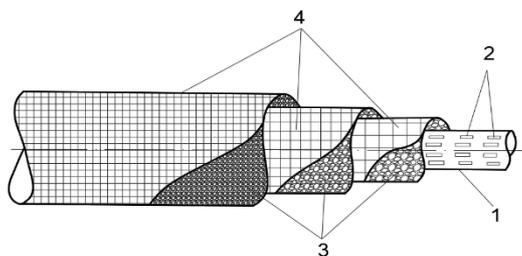
Основным элементом фильтрующего водозабора является фильтр, который должен обеспечивать бесперебойную подачу воды из источника в оросительную систему. Устойчивая эксплуатация фильтра определяется его типом в зависимости от морфологических, геологических и гидрологических условия источника орошения. В случае забора воды из горных рек следует отдавать предпочтение горизон-

тальным фильтрам, т.к. глубины в реках недостаточные, а скорости высокие. Считаем, что для условий горных рек следует использовать водоприемник со смешанным фильтром, состоящим из нескольких слоев, при этом вода к фильтру должна поступать со всех сторон. Этому случаю отвечает подрусловый водозабор, где минимальный уровень воды над фильтром должен быть больше 0,5 м со скоростями потока больше входных скоростей над фильтром.

Следует отметить, что фильтрующие водозаборы широко применяются в сложных условиях эксплуатации сибирских рек, для защиты биоресурсов, попадания крупных наносов при значительном диапазоне расходов 1-100 м<sup>3</sup>/с. Наметилась тенденция применения фильтрующих водозаборов в виде ковша, дренажа, фильтрующих откосов, плотин и др. [46, 78].

Однако, в мелиорации водозаборы такой конструкции практически не применяются, т.к. СКО, как правило, строятся на равнинах, где имеется достаточно водных ресурсов и добывать воду возможно без особых затрат на обустройство водоприемных устройств в виде аванкамер, траншей и др.

Наиболее перспективным фильтром является его устройство из трех слоев при заборе воды из малых рек /Л.А. Сурин/. Конструкция фильтра приведена на рисунке 1.5.



1 – труба; 2 – перфорация; 3 – фильтр; 4 – поддерживающие сетки.

Рисунок 1.5 – Водоприемник с трехслойным фильтром

Слои фильтра обмотаны и закреплены сеткой, что позволяет выполнять монтаж на берегу и краном укладывать на подготовленное место в водозаборе. Диаметр каркаса галереи определяют по  $Q_{отб.тр}$  из уравнения:

$$D_k = \frac{Q_{\text{отб.тр}}}{f \cdot \pi \cdot v_\phi} \quad (1.10)$$

где  $D_k$  – внутренний диаметр галереи;  $Q_{\text{отб.тр}}$  – расход отбора воды, м<sup>3</sup>/сут;  
 $f$  – коэффициент скважности дрены (перфорации), %;  $\pi$  – длина галереи, м;  
 $v_\phi$  – расчетная скорость втекания воды в фильтр, м/сут.

Формула (1.10) получена из уравнения расхода [2] и является необходимой для предварительных расчетов фильтра. Для более точного расчета геометрических параметров фильтра следует, на наш взгляд, применять уравнение неразрывности потока [2] в виде:

$$F_\phi v_\phi = F v \quad , \quad (1.11)$$

где  $F_\phi$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь галереи, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость в галерее, м/с.

В уравнении (1.11) Ф.И. Письменский предложил скорость фильтрации, вычислять по формуле:

$$v_\phi = 65 \sqrt[3]{K_{\text{ф.алл}}} \quad (1.12)$$

где  $K_{\text{ф.алл}}$  – коэффициент фильтрации обводненных пород аллювия, м/сут.

Для достаточной водообеспеченности СКО в виде фильтров следует применять крупнопористые и дисперсные среды, гравийно-галечниковые и галечниково-песчаные смеси, которые используются в качестве водоприема, водоочистки и фильтрации на водозаборах [2, 7, 9, 24, 26-30, 32, 33]. В этом случае для вычисления скорости фильтрации используется формула Дарси:

$$v_{\phi} = K_{\phi} \cdot J = K_{\phi} \frac{dH}{dt}, \quad (1.13)$$

где  $J$  – градиент пьезометрического напора;  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/с, зависящий от вида материала, температуры воды и ее характеристик.

Для расчета коэффициента фильтрации необходимо установить режим движения потока. Для ламинарной фильтрации следует применять формулу Дарси. При движении воды в крупнопористом материале поток находится в турбулентном режиме. В этом случае можно рекомендовать формулу:

$$v_{\phi} = K_{\phi} \cdot J^{\frac{1}{m}}, \quad (1.14)$$

где  $m$  – показатель степени отличный от 1,0.

Обычно  $m$  принимается – 0,5 при равномерном движении, при неравномерном движении фильтрационного потока коэффициент фильтрации уменьшается на 50-60 %. Для вычисления скорости фильтрации в турбулентном режиме имеется большое количество формул, но все они сводятся к виду формулы Шези. М.Ф. Сирбный и С.Б. Избаш для расчета скорости фильтрации через фильтр предлагают формулы:

$$v_{\phi} = S_0 \cdot p_0 \cdot \sqrt{d \cdot J}, \quad (1.15)$$

и

$$v_{\phi} = S_0 \cdot p_0 \cdot \sqrt{v_0^{m-2} \cdot d^{3-m} \cdot J}, \quad (1.16)$$

где  $m$  - показатель степени, равный 1 при ламинарном; 2 - при турбулентном режиме; промежуточное значение — при переходных режимах;  $p_0$  — порозность материала, доли единицы;  $S_0$  — обобщенный коэффициент Шези.

Формулы (1.15) и (1.16) наиболее логично описывают движение жидкости в фильтрах, т.к. учитывают все потери напора через обобщённый коэффициент Шези.

Имеются исследования С.В. Избаша и П.И. Гордиенко - для округлых и остроугольных материалов с порозностью 40-50 %, которые дают возможность предварительно выбрать фильтрующий материал в зависимости от диаметра материала, скорости фильтрации и типа фильтра. Результаты исследований даны на рисунке 1.6.

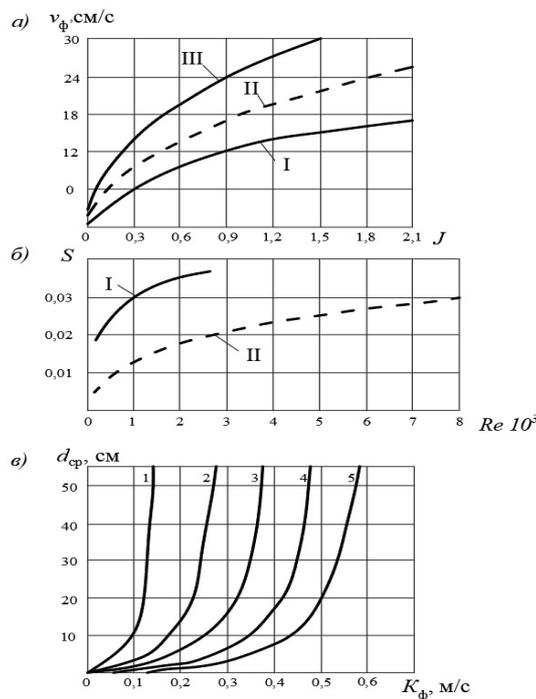
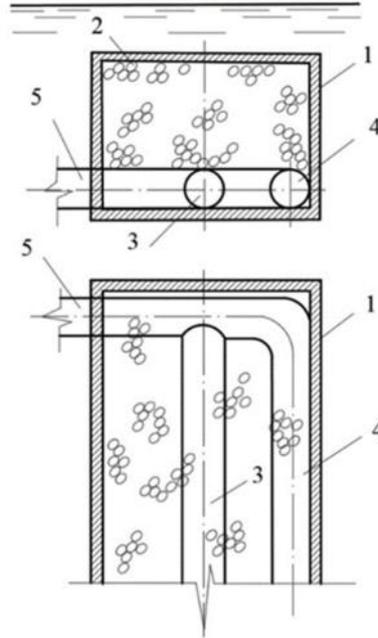


Рисунок 1.6 – Графики для определения скорости фильтрации фильтра на основании исследования С.В. Избаша и П.И. Гордиенко

Исследования С.В. Избаш и П.И. Гордиенко показывают о наличие переходной области для гравийных фильтров, т.к.  $m = 1,386$ . Ламинарный режим наблюдается при небольших  $J \geq 0,1$ . Ими указывается, что данные фильтры могут обеспечить надежный водоотбор при наличии водорослей, планктона, выполняя необходимый комплекс рыбозащиты.

*Особенности промывки фильтра водозаборов.*

Приложена конструкция фильтрующего водоприемника, которая дана на рисунке 1.7, где было выполнено исследование фильтрующих материалов фракцией 15...100 мм при толщине слоя от 0,2 до 0,8 м. Скорости на входе  $v_{вх}$  изменялись от 0,005 до 0,5 м/с. Значения  $J$  были в диапазоне 0,1-2,1.



1 – лоток; 2 – фильтр; 3 – дрена; 4 – промывной трубопровод; 5 – отвод воды.

Рисунок 1.7 –Фильтрующий водоприемник

Авторы указывают [10], что несмотря на различную загрузку слоёв требуется периодическая промывка фильтра и частоту промывки можно установить только опытным путем из-за сложности гидравлический явлений при обратном токе воды через фильтр. Данное явление можно охарактеризовать как выпор наносов при обратном токе воды. Выпор или силу выпора можно определить по формуле:

$$F_v = \gamma F_\phi h_\phi J , \quad (1.17)$$

где  $F_v$  – сила выпора, кН;  $F_\phi$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;  $h_\phi$  – толщина фильтра, м.

Формулу (1.17) можно применять для расчета промывки фильтра. Для этого будем использовать балансовый способ расчета промывки фильтра. Сила выпора от промывного устройства должна обеспечивать вынос мелких частиц наносов, которые закупоривают приемные отверстия фильтра за пределы водозабора.

*Требования к промывке фильтра.* Промывные устройства на мелиоративных водозаборах должны: не нарушать гидрологический режим источника; сохранять окружающую среду и биоресурсы [10, 35, 37, 38, 46]. Закупоривание отверстий фильтра зависит в основном от крупности материала фильтра и в меньшей степени – от вида фильтрующих материалов и значений соотношения  $v / v_{\text{вх}}$ . Исследованиями [1, 2] установлено, что фильтр при скорости фильтрации  $v_{\text{вх}}$  ниже 0,05 м/с, практически не заиливаются. А.А. Смирнов и Г.М. Кузовлев рекомендуют скорости на фильтре не более 0,02 м/с.

Для надежной работы фильтра при эксплуатации рекомендуется его периодическая промывка, которая определяется типом, крупностью наносов, местом расположения в реке, соотношением скоростей потока реки и входа воды в фильтр, площадью приемной части фильтра. Учеными установлено, что длительность промывки уменьшается с увеличением  $v_a$ , при этом промывные скорости значительно снижаются  $v_{\text{пр}}$ . Обратная промывка обеспечивает полное удаление взвеси и засорений при определенной крупности фильтров в зависимости от типов фильтра, которая находится в диапазоне находят 25-100 мм и более. Одно из основных требований по устойчивости: расположение фильтра в сооружения; однородный состав материала; необходимой толщиной фильтровальной загрузки.

Необходимая  $v_{\text{пр}}$  м/с определяется типом фильтра и находится в диапазоне 0,05-0,2 м/с. Вымыв засорений из толщ фильтра труднее, чем удаление их основной массы с поверхности. Потери напора при промывке распределяются неравномерно. На рабочий слой фильтра 0,10-0,15 м приходится до 60 %  $\Delta Z$  (напор). С увеличением  $d$  большая часть  $\Delta Z$  приходится на глубинные слои.

Из анализа водозаборных сооружений для систем капельного орошения можно сделать **выводы:**

1. Выбор типа и конструкции водозабора определяются природными и антропогенными факторами: гидрологическим режимом источника, морфологией и геологией русла, режимом наносов, биологическими ресурсами и объёмом забираемой воды на полив.

2. На горных участках можно применять донные галереи. Однако из-за сложной конструкции они значительно удорожают СКО.

3. Наиболее перспективными водозахватывающими сооружениями могут использоваться инфильтрационные водозаборы, которые устраиваются в руслах рек. Выбор таких водозаборов обусловлен геологическим и морфологическим строением русла. Недостатком сооружений является большое сопротивление фильтра. Положительным является защита молоди рыбы.

4. Для инфильтрационных водозаборов следует предусматривать промывку фильтра обратным током воды. Для горных рек фильтрующий элемент должен быть размещен в русле и в коше. Фильтр приемной камеры следует принимать многослойным, состоящим из 2-3 слоев. Приток воды к фильтру должен быть обеспечен со всех сторон при минимальной глубине над фильтром не менее 0,5 м.

5. Для захвата воды следует применять перфорированные трубы с фильтрующей обсыпкой и высоким коэффициентом фильтрации, что значительно уменьшит стоимость водозаборного сооружения.

### **ВЫВОДЫ по разделу.**

1. Эколого-экономическая эффективность СКО определяется режимом орошения, от которого зависят размеры мелиоративного водозаборного сооружения в горных условиях. Поливная норма является одним из основных параметров режима орошения.

2. Анализ аналитических зависимостей поливной нормы для горных агроландшафтов показал, что наиболее адаптированными являются исследования, выполненные ВНИИПМ, Е.В. Кузнецовым, А.Д. Гумбаровым, Ю.А. Скобельцыным. Для

гидравлических исследований поливных трубопроводов следует применять формула Дарси-Вейсбаха с учетом гидравлики переменной массы потока.

3. Выбор типа и конструкции мелиоративного водозабора для горных рек определяются сложными природными и антропогенными факторами. МВ на горных реках должен отвечать комплексным требованиям: бесперебойный захват воды в необходимом количестве и качестве в межень; защита от донных и взвешенных насосов; промывка фильтрующей загрузки; защита гидробионтов; защита конструкции от разрушения при паводках; сохранять экологию реки и берегов.

4. При разработке конструкции и выборе типа мелиоративного водозабора должен учитываться гидрологический режим горной реки, когда высокими скоростями наблюдаются в паводок и малые глубины в межень. На режим оказывают влияние извилистость, перекаты и уклоны участков рек, донные и в потоке наносы. Поэтому выбор типа и конструкции водозабора определяют его устойчивость, надёжность и долговечность при эксплуатации.

5. Поэтому одной из методик выбора типа и конструкции мелиоративного водозабора для горных рек будем считать техногенный путь решения данной непростой задачи, где при выборе МВ будем использовать опыт специалистов, эксплуатировавших аналогичные сооружения в таких условиях, и технологические и технические параметры водозаборов, адаптированные к этим условиям.

**Научная гипотеза.** Разработка адаптированных мелиоративных водозаборов в сложных гидрологических и геологических условиях горных ландшафтов должна обеспечить захват воды в необходимом количестве и качестве донным ковшом с искусственной фильтрующей загрузкой и промывкой для повышения водообеспеченности системы капельного орошения.

## 2. РАЗРАБОТКА РЕЖИМА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ЯБЛОНЕВОГО САДА НА ГОРНЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

### 2.1 Разработка проекта реконструкции системы капельного орошения ООО «Мускат» для горных условий

Для повышения водообеспеченности яблоневого сада ООО «Мускат» разработан в КубГАУ проект реконструкции системы капельного орошения на площади 348 га в Майкопском районе Республике Адыгея. Схема оросительной системы КО сада представлена на рисунке 2.1.

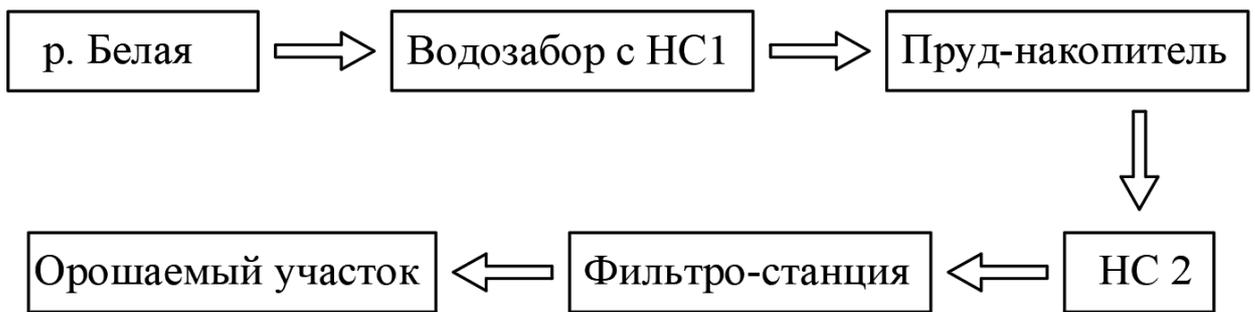


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы капельного орошения в ООО  
«Мускат» в Майкопском районе

Реконструкция СКО была выпалена увеличением площади орошения с 120 до 348 га за счет улучшения водообеспеченности сада и уточнения поливных норм путём разработки новой конструкции, и способа забора воды ковшовым фильтрующим мелиоративным водозабором из горной р. Белая. Водозабор совмещён с насосной станцией 1 подъёма. Дополнительно была разработана подкачивающая насосная станция 2 на пруду-накопителе для подачи воды в СКО. Пруд-накопитель служит буферной емкостью для снижения дефицита воды в межень.

Система капельного орошения сада расположена на 2-ой террасе р. Белой. Режим КО требует новой оценки, так как в геологическом строении, на данной территории залегает естественный дренирующий слой на глубине 0,8-1,2. Уровень грунтовых вод не оказывает влияния на корнеобитаемый слой яблонь.

На правом берегу реки устроен фильтрующий мелиоративный водозабор (МВ). По напорному п/э трубопроводу диаметром 315 мм вода подается в пруд-накопитель суточного регулирования объемом 20 тыс. м<sup>3</sup>. Из пруда с помощью насосной станции 2-го подъема вода направляется по магистрали диаметром 250 мм на узел фильтрации, где происходит тонкая её очистка для подачи в поливные трубопроводы. На поливных трубопроводах установлены капельницы, через которые вода поступает к деревьям.

Колодец под НС1 глубиной 4,65 м. устраивается из ж/б марки В35 прямоугольной формы размером в плане 2,9х2,6 м, это позволяет внутри размещать погружные насосы и проводить плановые мероприятия по очистке от наносов, а также управлять промывкой фильтровальных труб диаметром 500 мм и фильтра обратным током воды непосредственно из колодца. Для забора воды из реки подобраны по гидравлическим характеристикам 2 насоса *KSB KRTK 80-253/262 VEG-S* расходом насоса 150 м<sup>3</sup>/ч и напором – 40м.

Толщина стенок колодца рассчитывается на прочность от воздействия ударов о стенки колодца плавающих деревьев и крупных донных наносов во время паводков. Толщина стенок колодца составляет 300 мм. Объем мокрой части колодца рассчитывается из уравнения неразрывности потока и принимается с 2 кратным запасом. При эксплуатации насосного оборудования над насосом принимается уровень не менее 0,5 м. При понижении уровня в камере ниже критического насосы автоматически отключаются, выполняется промывка фильтра через фильтровальную трубу 500 мм обратным током.

Расход водозабора определяется с учетом режима капельного орошения сада. Основными параметрами является поливная норма, площадь орошения, время полива. С учетом поливной нормы и площади полива рассчитывается расход воды для орошения сада.

Пруд суточного регулирования объемом 20 тыс.м<sup>3</sup> обеспечивает бесперебойную подачу воды в систему капельного орошения, а также служит для отстаивания воды р. Белая, когда сток имеет повышенную мутность воды. По периметру пруда выполнен глиняный замок толщиной 30 см, откосы – защищены галечником – толщиной 20 см.

Из пруда чистая вода насосной станцией 2-го подъема центробежными консольными насосами *ETN 100-080-315* производства *KSB* подается в магистральный трубопровод к фильтростанции фирмы *ODIS*, состоящей из 7 металлических локальных очистных сооружений с песчано-гравийной засыпкой и контрольного сетчатого фильтра. Очищенная вода поступает в СКО по распределительным и поливным трубам (линиям) к деревьям.

#### *Техника капельного орошения.*

Капельное орошение интенсивного сада принимается точечным, т.е. для каждого дерева устанавливается капельница на шпалере на высоте 30 см от поверхности почвы. Расстояния между капельницами принимается расстоянию между деревьями. При поливе на поверхности почвы может наблюдаться зона растекания воды с хорошо выраженным пятном увлажнения, т.к. почвы имеют средний и тяжелый механический состав. При дальнейшей подаче воды на её поверхности происходит набухание почвы и устанавливается тонкий слой воды, который впоследствии растекается на поверхности почвы. Просачивание воды при капельном орошении происходит от центра очага увлажнения к границам контура увлажнения.

На почве сада в начале подачи воды капельницей происходит растекание по почве, а затем наблюдается напорная инфильтрация, при которой формируются контуры увлажнения. Д.П. Гостищев и О.Е. Ясониди [89-90], исследуя локальное орошение плодоягодных культур на Северном Кавказе, пришли к выводу, что локальность капельного орошения с соответствующими очагами увлажнения обусловлена особенностями техники полива. Ученые считают, что к элементам техники капельного орошения относятся элементарная поливная норма, время её выдачи, расход и количество капельниц в очаге.

Для очагового увлажнения О.Е. Ясониди [89-90] установлены параметры локального увлажнения почв под различными культурами и выявлены закономерности увлажнения почвы. Для семечковых культур площадь контура увлажнения 2-6 м<sup>2</sup>, глубина 0,8-1,0 м, глубина распространения основной массы корней 0,8-1,0 м и увлажняющая часть площади питания 0,1-0,31 м<sup>2</sup>. Следует отметить, что для плодоносящего сада важным являются поливы, особенно в засушливые периоды, которые снимают «стрессовое напряжение» растения и тем самым устраняют замедление образования и роста плодов.

Для обоснования выбора конструкции мелиоративного фильтрующего водозабора (МФВ) необходимо иметь основные технико-экономические показатели системы капельного орошения. В таблице 3.1 приводятся основные технико-экономические показатели СКО для выбора мелиоративного водозабора.

Таблица 2.1 – Основные проектные технико-экономические показатели

Наименование показателей	Параметры	Примечания
Культура	Яблоня подвой М 9	На участке 12 сортов яблонь, расчет проводится на сорт «Стар Крымсон»
Площадь орошения нетто, га	341,48	Площадь брутто 348 га
Расход воды, тыс.м <sup>3</sup>	1180,155	В голове МФВ
Источник орошения	Р. Белая	Забор воды из р. Белой
Насосная станция 1, мЗ/час	160	На берегу р. Белая
Пруд-накопитель, тыс. мЗ	20	Фильтрационный экран из глины толщиной 30см
Насосная станция 2, мЗ/час	300	На берегу пруда-накопителя
Магистральный трубопровод Д=225 мм, м	530	Материал - полиэтилен
Станция очистки воды	Механическая	Песчаный фильтр из 8 кассет
Трубопроводная поливная сеть, м	32417	Капельные линии
Поливной расход, м <sup>3</sup> /час	300	Подача 5-и насосов (максимальная)
Расход воды в систему КО, тыс.м <sup>3</sup>	1180,155	Расход 75 % обеспеченности.

Технико-экономические показатели (таблица 3.1) будут использоваться при разработке конструкции МФВ и способа забора воды из р. Белая для обеспечения устойчивой эксплуатации системы капельного орошения.

## 2.2 Исследование качества воды р. Белая

При изменении климата становится важным вопрос добычи воды при её дефиците на всём протяжении выращивания культур, и особенно, это является актуальным в горных условиях эксплуатации СКО. Водозаборные сооружения не всегда справляются с добычей воды в нужном качестве и количестве для полива сельскохозяйственных культур.

Урожай культур зависит от качества воды в источнике орошения и мелиоративного состояния почвы (МСП). Высокое качество воды в источнике не требует дополнительных затрат на водоподготовку и очистку от загрязнений. Проблеме качества воды посвящены работы М.Ф. Буданова, В.Б. Додолиной С.Я. Бездниной и др. ученых, которые разработали методы оценки влияния воды на МСП при поливе сельскохозяйственных культур [9, 11, 13,17,18].

Оценка пригодности воды из р. Белой для полива интенсивного сада была выполнена по содержанию катионного состава и общей минерализации. Пробы воды отбирались в вегетационный период выращивания сада в 3-х точках в межень, когда экологическое состояние реки наихудшее: до створа, в створе и после створа. Обработка проб воды выполнялась в аттестованной химической лаборатории РосИнТеКо, г. Краснодар по основным показателям, влияющих на плодородие почв. Результаты обработки проб воды реки в створе водозабора приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные средневзвешенные показатели качества воды в створе водозабора р. Белая

№ п/п	Наименование показателей	Концентрация	
		мг/л	мг·экв/л
1	рН	7,9	7,9
2	Минерализация	0,7	0,7
3 Катионы			
	Ион кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ )	37	1,85
	Ион магния ( $\text{Mg}^{2+}$ )	8,2	0,66
	Ион натрия ( $\text{Na}^{+}$ )	8,8	0,36
	Сумма катионов	-	2,87

продолжение таблицы 2.2

4 Анионы			
	Ионы бикарбоната ( $\text{HCO}_3^-$ )	127,8	2,069
	Ионы хлорида ( $\text{Cl}^-$ )	4,0	0,11
	Ионы сульфата	32	0,67
5	Сумма анионов	-	2,87
6	Сумма солей	-	5,74

Установлено, что вода в реке – гидрокарбонатно-кальциевая (таблица 2.2). Применяя методику М.Ф. Буданова, получены данные о качестве воды при орошении садов из р. Белой:

$$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+}} = \frac{0,32}{1,85} = 0,17 < 1,0 ; \quad (2.1)$$

$$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} = \frac{0,32}{2,51} = 0,12 < 0,7 ; \quad (2.2)$$

$$\frac{\Sigma \text{солей}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} = \frac{5,74}{2,51} = 2,3 < 4,0. \quad (2.3)$$

Установлено, что качественные показатели воды (2.1-2.3) – высокие. По результатам исследований следует, что вода р. Белой высокого качества и пригодна для орошения интенсивных яблоневых садов. Вода реки при орошении не вызовет отрицательных воздействий на макро-микробиологическую почвенную биоту, не вызовет засоления, осолонцевания, содообразования почв участка орошения. Обеспечит при капельном орошении садов высокий урожайности и качество яблок.

При капельном орошении сада выполнялся контроль над мелиоративным режимом почв: водный, солевой, пищевой, воздушный и микробиологический. Водно-воздушный режим определяется положением уровня грунтовых вод (УГВ). Водно-солевой режим обеспечивается миграцией с оросительной водой таких опасных элементов как хлориды, сульфаты, натрий, кальций, магний и др., которые при определенных сочетаниях проявляются в почвенно-мелиоративном комплексе

(ППК) в виде общего и хлоридного засоления – по содержанию солей иона хлора ( $\text{Cl}^-$ ), а также натриевого ( $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ) и магниевое ( $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ ) осолонцевания (таблиц - 2.1, зависимости (2.1 – 2.3).

Уровень грунтовых на исследуемой территории находится в диапазоне 1,2-1,5 м. Почвенные горизонты, где расположена корневая система деревьев не подвержены подтоплению и переувлажнению. На территории не установлено выпора грунтовых вод, на глубине 0,8-1,2 м залегает фильтрующий слой, который подпирает плодородный слой почвогрунта.

Для оценки мелиоративного состояния почвы выполнены исследования по влиянию полива на ППК. При КО основная масса корней интенсивного сада расположены в горизонтах почвы А+В. В таблице 2.3 приводятся результаты обработки смешанных образцов почвы участка орошения садов для А+В, которые применяются при оценке влияния КО на МСП.

Таблица 2.3 – Оценка МСП при КО

№ п/п	Наименование характеристик	Размерность	Значение
1	Почвенно-поглощающий комплекс почвы с тяжело суглинистым составом	мг экв/100г	19,9-29,5
2	Оценка качества оросительной воды		
	Хлоридное засоление	мг экв/л	0,67
	Натриевое осолонцевание	мг экв/л	0,17
	Магниевое осолонцевание	мг экв/л	0,36

Исследования показывают, что оросительную воду по почвенно-мелиоративной классификации и степени развития процессов в почвах можно отнести к I классу – неопасный (таблица 2.3). По результатам химического анализа воды из реки содержание токсичных солей не превышает 0,028 г/л и не оказывает отрицательного влияния на МСП.

Р. Белая во время паводков несёт большое количество наносов, средневзвешенное значение которых достигает  $590 \text{ г/м}^3$ , где в гранулометрическом составе преобладают фракции  $<0,1 \text{ мм}$  (80%). Небольшие диаметры отверстий капельниц при значительном их количестве, невысокие давления и скорости движения воды

обуславливают высокую степень риска элементов системы к засорению. Данное обстоятельство обуславливает высокое требование к качеству оросительной воды по содержанию взвешенных частиц на водозаборных сооружениях и требует обустройство прудов-накопителей (отстойников).

Выбор в проекте способа подготовки и очистки воды при эксплуатации водозабора значительно снижает общую стоимость СКО, сокращает срок окупаемости капитальных вложений. Поэтому к водозаборному сооружению систем капельного орошения предъявляются жёсткие требования по качеству воды. Необходимо контролировать снижение в воде вредных растворенных солей, оказывающих отрицательное воздействие на сельскохозяйственные культуры и почву.

Общая минерализация воды должна быть меньше 1 г/л. Максимальный размер взвешенных частиц в воде не должен превышать при проходных отверстиях капельниц: <1 мм – 50 мкм, 1-2 мм – 70 мкм, >2 мм – 100 мкм. Допустимые размеры гидробионтов в концентрации: 5 мг/дм<sup>3</sup> - <50 мкм; 10 мг/дм<sup>3</sup> - <100 мкм; 15 мг/дм<sup>3</sup> - <150 мкм.

Установлены основные требования к водозаборному сооружению в горных условиях по гидрохимическим показателям и степени действия на элементы системы капельного орошения (таблица 2.3).

Таблица 2.4 – Определение качества воды по гидрохимическим показателям СКО

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели эксплуатации водозабора			
			Устойчивая	Допустимая	Не допустимая	Опыт
1	Общая минерализация	мг/л	<500	500-2000	>2000	<b>528</b>
2	рН	-	6-7	7-8	>8	<b>6,5</b>
3	Содержание марганца	мг/л	<0,1	0,1-1,5	>1,5	<b>0,064</b>
4	Содержание железа	мг/л	<0,2	0,2-1,5	>1,5	<b>0,15</b>
5	Содержание сероводорода	мг/л	<0,8	0,2-2,0	>2,0	<b>0,78</b>

продолжение таблицы 2.4

6	Количество популяций, бактерий	мг/л	$<10 \cdot 10^5$	$10^5 - 5 \cdot 10^6$	$>50 \cdot 10^6$	<b><math>10^4</math></b>
7	Карбонатно-бикарбонатные равновесия	1с	$-0,5 < 1с < 0,5$	$-0,5 < 1с > 0,5$	$-0,3 < 1с > 0,5$	<b><math>-0,5 &lt; 1с &lt; 0,5</math></b>
8	Допустимые скорости на водозаборе	м/с	$<0,15$	0,15-0,20	$>0,2$	<b>0,2</b>
9	Мутность во время паводка	г/м <sup>3</sup>	$<100$	300	600	<b>650</b>
10	Глубина	м	$>1$	0,5-1	$<0,5$	<b>0,5-1</b>

Из таблицы 2.4 следует, что вода отвечает основным требованиям по гидробиологическим показателям. Такими параметрами, как количество популяций бактерий, допустимые скорости в реке, возможно, управлять на водозаборе с помощью конструктивных элементов. Остальные параметры должны управляться на фильтростанциях системы капельного орошения или в прудах-отстойниках. Для территорий с высокими экологическими требованиями, к которым можно отнести горные агроландшафты с расположенными на них оросительными системами, следует применять ландшафтный подход – адаптированного устойчивого развития территорий.

Установлено, что для повышения качества воды необходимо устраивать пруды-отстойники, в которых вода осветляется и может дополнительно обрабатываться. Из анализа выполненных исследований следует, что системы капельного орошения с водозаборными сооружениями на горных реках должны устраиваться, как правило, совместно с прудами-осветлителями.

Из выполненного анализа по почвенно-мелиоративному режиму и гидрологическому режиму реки Белой можно сделать **выводы:**

1. Мелиоративные режимы при поливе показывают, что оросительную воду по почвенно-мелиоративной классификации и степени развития процессов в почвах можно отнести к I классу – неопасный. По результатам химического анализа воды из реки содержание токсичных солей не превышает 0,028 г/л.

2. Для повышения качества воды необходимо устраивать пруды-отстойники, в которых вода осветляется и может дополнительно обрабатываться.

3. Качественные показатели воды для орошения садов следует определять по методике М.Ф. Буданова (2.1). По качественным показателям вода из р. Белой пригодна для орошения и обладает высокими природными качественными показателями.

### **2.3 Анализ влияния капельного орошения на корневую систему яблонь**

Искусственное увлажнение и технология полива растений оказывают определенное влияние на корневую систему яблони. Согласно исследованиям Бородычева В.В. и его коллег [9], изменение глубины увлажняемого слоя при орошении от 0,4 до 0,8 метров приводит к перераспределению корневой системы яблони в более глубокие почвенные горизонты. Лаптев И.М. (1960) отмечает, что при редких поливах большими объемами влаги корневая система заглубляется, а при частых поливах малыми дозами корни растений преимущественно распространяются в поверхностном слое почвы [42]. Кошелева Р.В. (1962) сообщает, что основная масса горизонтальных корней яблони в Средней Азии залегает на большей глубине при орошении по сравнению с естественными условиями.

Флюрце И.С. обобщает результаты исследования в природно-климатических условиях Молдавии и указывает, что у яблони сорта "Вагнер призовое", выращиваемой без орошения в богарных условиях, 85,5% корневой системы располагается в слое глубиной 0-40 сантиметров, в то время как при орошении только 72,2% корней находится в этом слое. По массе, 80% корней сосредоточено на богаре и в слое 0-38 сантиметров при орошении, а 80% корней по общей протяженности располагается на богаре и на глубине 46 сантиметров при орошении. Для сорта "Рихард Делишес" на естественно увлажняемой почве, 69% корней концентрируется в слое 21-40 сантиметров, а при поливе только 43,2% корней находится в этом слое. Максимальная глубина корней составляет 60 сантиметров на богаре и

80 сантиметров при орошении. Глубина почвогрунтового слоя, где сосредоточено 80% от общей массы корней, составляет 37,0 сантиметров на богаре и 42,0 сантиметров при орошении. Глубина активного почвокорневого слоя, содержащего 80% от общей протяженности корней, составляет 38 сантиметров на богаре и 48 сантиметров при орошении. Таким образом, искусственное увлажнение яблони сорта "Вагнер призовое" приводит к смещению значительной части корней (по массе и длине) из горизонта почвы 0-20 сантиметров в горизонт 20-40 сантиметров. Для сорта "Рихард Делишес" также наблюдается общее увеличение заглубления корневой системы с 60 сантиметров на богаре до 80 сантиметров при орошении [68].

Согласно исследованиям Рычкова Н.И. и Олефир Е.П. (1972), технологии полива также оказывают влияние на формирование параметров корневых систем древесных культур, выращиваемых на орошаемых землях. Изменение глубины увлажняемого слоя при поливе регулирует расположение корней в корневой системе растения. При частых поливах малыми дозами корни располагаются ближе к поверхности земли, преимущественно в слое 0-20 сантиметров, в то время как при редких поливах большими объемами влаги корни располагаются на большей глубине. Яковлев С.А. (1953) и Марченко П.В. (1977) также подтверждают этот факт.

Исследования Хоржан О.К. указывают, что у яблони сорта Ренет Симиренко при поливе по бороздам корневая система имеет заложение "основной массы" корней в диапазоне от 0,6 до 0,7 метров, при дождевании - от 0,14 до 0,3 метров, а при капельном орошении - около 0,6 метра. Для яблони сорта Джонатан, выращиваемой в Молдавии, основная часть корневой системы (80% от суммарной протяженности корней) находится в слое от 40 до 55 сантиметров в богарных условиях и от 56 до 60 сантиметров при орошении. По показателю (80% от общей массы корней) корни располагаются на глубине до 50-55 сантиметров на богаре и до 55-60 сантиметров при орошении.

Согласно Ахмедову А.Д. (2003), у яблони сорта "Мантет", выращиваемой при внутрипочвенном орошении в Волгоградской области, основная масса корней находится на глубине до 1,0 метра, составляя в среднем 88% от общей протяженности корней, а в слое от 0,20 до 0,60 метра располагается половина всех корней.

Исследования Акутневой Е.В. (2005) и Ахмедова А.Д. (2003) показывают, что характер распределения корней яблони по глубине почвы до полутора метров зависит не только от искусственного увлажнения, но и от технологии полива.

По данным Акутневой Е.В., у сорта яблони Мантет при поверхностном поливе около 80 процентов основной массы корней располагается в слое от 0,00 до 0,60 метра, а при внутрипочвенном орошении на такой же глубине только 57,7 процента, при уменьшении их в слое от 0 до 20 сантиметров.

Однако, имеются альтернативные данные, представленные исследованиями Умирова А.М. (1968). По этим данным, у яблони сорта Делишес, выращиваемой на аллювиально-галечниковых почвах Кабардино-Балкарии в системно поливаемых садах, корневая система находится в слое от 0 до 40 сантиметров при достаточном орошении, в слое от 20 до 60 сантиметров при недостаточном орошении, а на неорошаемых участках корни проникают на глубину до 140 сантиметров.

Таким образом, различные исследования могут давать несколько разные результаты относительно расположения корневых систем яблони в зависимости от условий полива и типа почвы.

Анализированные данные, относящиеся к глубине расположения основной части корневой системы яблони, позволяют сделать следующие выводы:

- в отсутствие явных ограничений для распространения корневых систем яблони, основная часть корней у плодоносящих крупнорослых растений составляет примерно на глубине 0,8-1,0 метра по массе и протяженности, у среднерослых - примерно 0,6-0,8 метра, а у низкорослых - от 0,4 до 0,6 метра.

Согласно Колесникову В.А., горизонтальные корни, которые имеют важное значение в питании плодовых растений, обычно располагаются в поверхностных почвенных горизонтах на глубине от 30 до 70 сантиметров.

Расположение основной части корневой системы яблони изменяется и увеличивается с возрастом растения. В первый год жизни и до наступления стадии плодоношения наблюдается относительно интенсивное заглубление корней, после чего процесс их продвижения в глубину замедляется, и заглубление стабилизируется в "зрелом" возрасте (от первой до IV-V стадии развития по Шипу).

Влияние сорта подвоя относительно меньше, чем влияние вида привоя, для привитых растений. При одинаковых условиях и отсутствии ограничений для заглубления корней, влияние сорта и вида привоя может составлять в среднем от 40 до 60% в глубине активного почвенно-корневого слоя.

Физико-химические характеристики почвы играют роль в ограничении заглубления корневых систем яблони. Эти ограничения включают плотность подпахотных горизонтов почвы, наличие глинистых прослоек, галечника и низкоплодородных включений, а также наличие засоленных, гипсоносных и химически токсичных почв. Обычно корни яблони не проникают в такие почвенные слои. В случае слоистой структуры почвы корневые системы яблони формируют многоуровневую структуру, зависящую от влагонасыщенности почвы и плотности почвенных образований.

При равных условиях, таких как климат, сорт и другие факторы, размер корневой системы яблони в мощных и рыхлых плодородных почвах превышает размеры, чем в маломощных почвах.

Уровень увлажнения почвы существенно влияет на глубину корневых систем яблони. В условиях аридного климата основная масса корней обычно располагается в поверхностных горизонтах, но некоторые корни могут проникать в глубокие влагосодержащие слои. При увеличении мощности увлажняемого слоя наблюдается соответствующее увеличение заглубленности корней. В гумидной зоне корневая система яблони определяется влажностью почвы на уровне 0,7-0,8 НВ. Однако корни не заглубляются в переувлажненные и водонасыщенные слои почвы.

Уровень грунтовых вод также ограничивает заглубление корневых систем яблони. Горизонт грунтовых вод является нижней границей для корней. Корневые окончания обычно прекращают движение в слое капиллярного подъема с влажностью почвы, не превышающей 0,6 НВ, и обычно не соприкасаются с горизонтом грунтовых вод. Если уровень грунтовых вод высок, то заглубление корней определяется этим уровнем.

При искусственном увлажнении почвы в аридных зонах заглубление корней яблони может быть больше, чем при естественном и дефицитном увлажнении.

Проникновение корней яблони в почву также может зависеть от типа природно-климатической зоны, где она растет.

Горизонтальные скелетные корни, отрастающие корни и вертикальные корни имеют свои характерные особенности заглубления. Системообразующие горизонтальные скелетные корни обычно располагаются на глубине до 30-50 сантиметров.

**Выводы 1.** Из представленного анализа капельного орошения различных сортов яблонь не установлено влияние (фильтрующего) гравелистого дренирующего слоя 0,8-1,2 м на глубину распространения корневой системы.

2. При капельном орошении яблонь разных сортов основная масса корневой системы до 75 – 80 % располагается в слое почвы А + В.

3. Почвы участка орошения на 2-ой террасе р. Белая обладают хорошей дренированностью, следовательно, при орошении яблонь следует применять капельницы с повышенными расходами порядка 2 – 4 л/ч для горных агроландшафтов.

4. Данные о параметрах корневых системах яблонь представляют основу для разработки моделей капельного орошения яблоневого сада.

## **2.4 Методика лабораторных исследований режима капельного орошения**

Почвы исследуемого участка сформированы паводковыми водами, послойным отложением на поверхности свежих слоев на галечнике, что соответствует черноземным почвам лесостепной провинции, для которой характерны аллювиальные луговые насыщенные слабогумусные средние суглинки. Изменение влажности внутри почвогрунта при поливе, зависит от гранулометрического состава самой почвы, сложения структуры грунта, а также от интенсивности подачи воды на оро-

шение. Все эти факторы формируют локальные контуры увлажнения, приближенные к эллипсоидной форме. Экспериментальные исследования распространения влаги в почвенном профиле осуществляются после проведения капельного полива.

Для описания модели движения влаги использовали закон Дарси и исследования Л. Ричардса [54], которые установили передвижение почвенной влаги в прямо пропорциональной зависимости от абсолютной влажности самой почвы, а также структуры подстилающих слоев. Исследовалась закономерности распространения влаги в слоях почвогрунта под действием гравитационных сил от инфильтрационного потока, создаваемого расходом капельниц. В опытах объемная масса в исследуемых горизонтах почвы находится в слоях 0,1 м по глубине 0,8 м, в 5-ти кратной повторности.

Опыты выполнялись в лаборатории кафедры гидравлики КубГАУ на модельном почвогрунте, доставленном с опытного поля ООО «Мускат» на лизиметрической установке (рисунке 2.1).



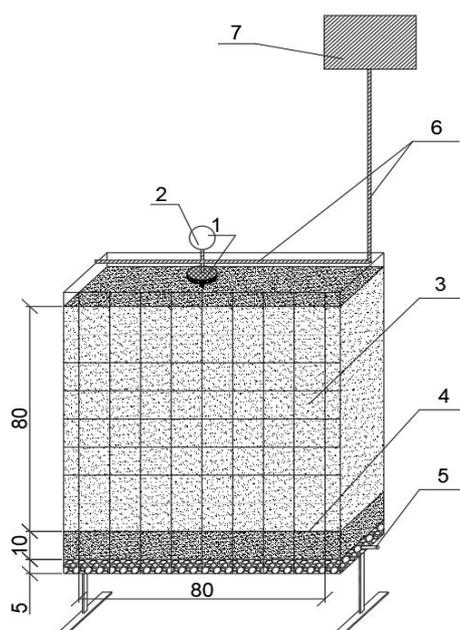
Рисунок 2.1 – Лабораторная установка с почвогрунтом

Опытная установка имеет прозрачную прямоугольную емкость длиной 1,0 м, шириной 0,3 м, высотой 1,0 м. В стенках имеются отверстия диаметром 10 мм, через каждые 10 см.

На установке имитируется разрез почвогрунта, который был доставлен с опытного поля. На дне под почвогрунтом имеется слой гравия толщиной 0,1 м, далее идет крупный песок слоем 0,1 м и над песком – уложен исследуемый почвогрунт. Толщина промачиваемого слоя почвогрунта – 0,8 м, где по рекомендациям О.Е. Ясониди размещается активная корневая система при КО для яблонь интенсивных садов. Над почвой устраивалась капельница со средним расходом 2,5 л/ч. Напор в трубопроводе над капельницей создавался мерной емкостью с водой, которую можно было поднимать или опускать, создавая требуемое давление. Объем емкости рассчитывался на заданную продолжительность полива.

Почвенный разрез имитировал слой почвы в натуральных условиях. Под почвой участка залегает водопроницаемый гравелистый грунт, т.к. участок расположен на 2-ой террасе р. Белой.

Для определения влажности слоев почвы применялся тарированный прибор ВИМС -1У (ГОСТ 12997-84). Влажность измерялась тарированным датчиком зондового типа в углах сетки 10x10 см по всей глубине опытного образца, которая нанесена на одну из сторон стенки лизиметра в 5-ти кратной повторности (рисунок 2.2).



1 – капельница, 2 – манометр, 3 – слой грунта, 4 – гравийно-песчаная подушка, 5 – дренаж, 6 – трубопроводы, 7- напорная емкость

Рисунок 2.2- Лабораторная установка – почвенный лизиметр

Над почвой в установке размещается поливной трубопровод 6 диаметром 20 мм с капельницей 1. Вода подается в поливной трубопровод под давлением, которое контролируется мерной емкостью. Время истечения жидкости из капельницы определяется секундомером *KARSER KS-9899*. Температура воды определяется ртутным почвенным термометром с ценой деления 0,1 °С.

В полевых условиях исследуются запасы влаги перед поливным сезоном для назначения 1 полива в метровом слое почвы. Влажность почвы определяется до и после полива с помощью влагомера ВИМС-1.У в 5-ти кратной повторности. Для измерения влажности применялись зондовые тарированные датчики. Погрешность измерения влажности зондовым датчиком не превышает 0,2 %.

## **2.5 Результаты исследования динамики увлажнения почвогрунта при капельном поливе садов**

На поверхность почвогрунта подавался расход 2,5 л/час, который был установлен опытным путём ранее для орошения яблонь и особенностей природно-климатической зоны района исследований (рисунок 2.3).

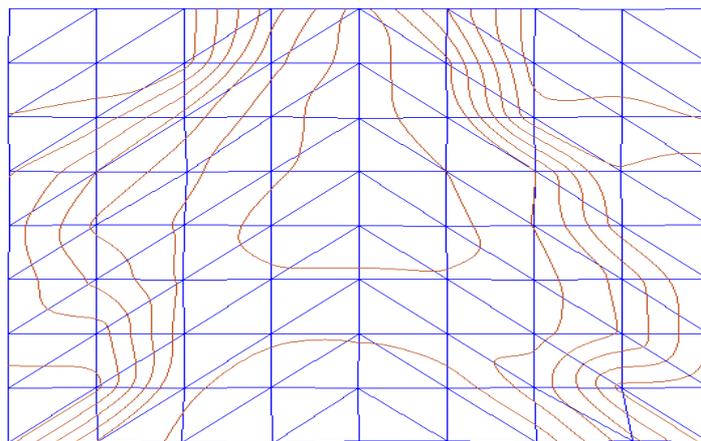


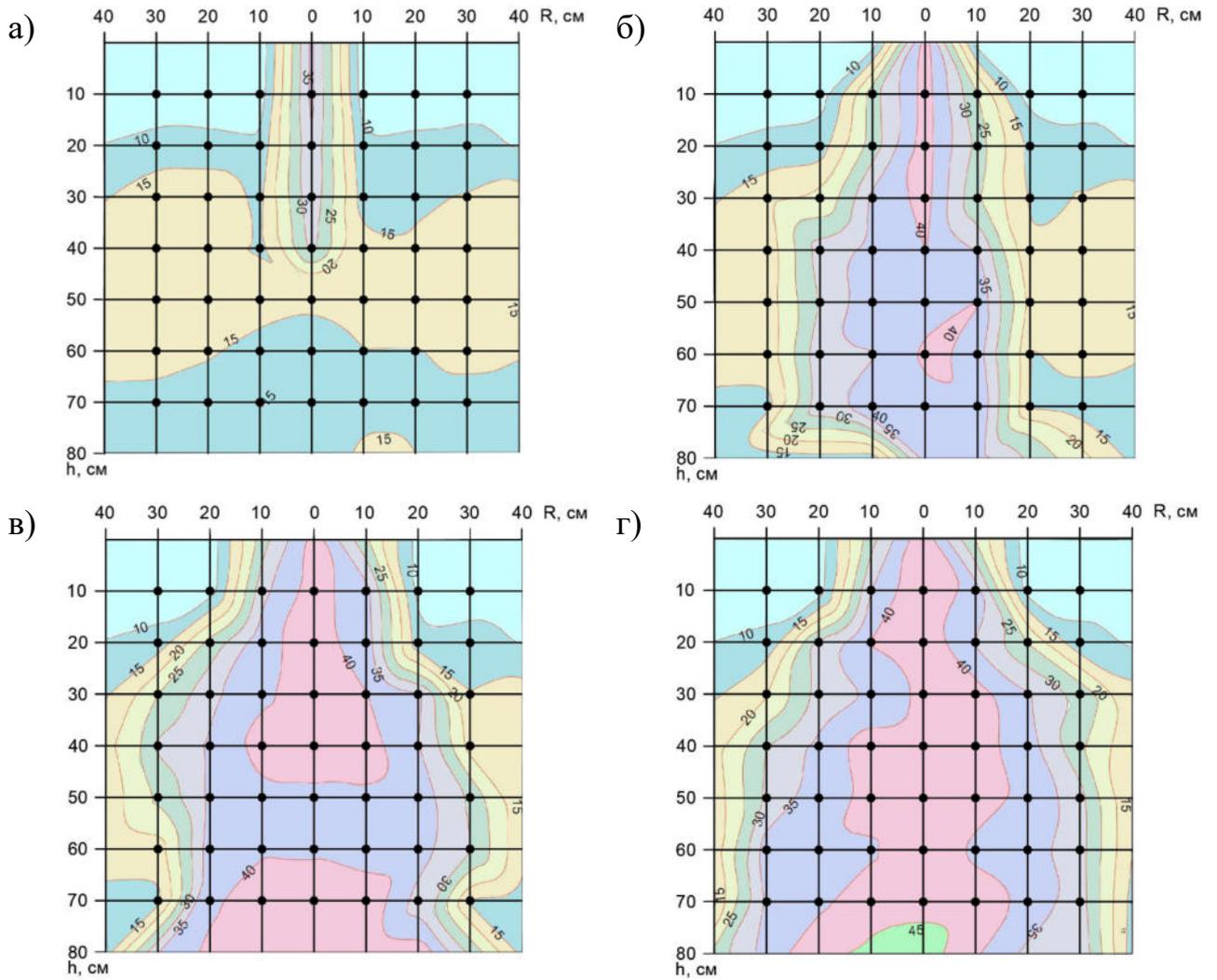
Рисунок 2.3 - Схема контура увлажнения на 8-й час полива.

При поливе в почвогрунте формируются контуры в виде «елки», треугольника со рваными сторонами. Измерения влажности выполнялись в вершинах квадратов сетки на лицевой стороне лизиметра до полива, и далее через каждый час в течение 10 часов, далее через 3 дня и через 6 дней.

Моделирование распространения влажности в почвогрунте проводилось по картограммам на базе эмпирических данных по влажности в различные интервалы времени с использованием метода триангуляции в каждом квадрате (рисунок 2.3). Выделялись 2 смежных треугольника на сетке, далее каждая сторона, образованная треугольниками, разбивалась на равные отрезки, и через величины равные 5 % шагу проводились кривые в программном комплексе *IndorCAD*. Обработка измерений проверялась в комплексе *STATISTICA* на персональном компьютере методом множественной регрессии. Данный метод наиболее подходит для подгонки прямой линии, описывающей изменение исследуемых параметров, по набору точек полученных по результатам опытов.

Одна из задач была: установить на каком часе после полива вода достигает дренажного слоя, и когда требуется прекращать полив, чтобы обеспечить рациональное использование воды при капельном орошении яблонь. Имея промачиваемый слой почвогрунта капельницей расходом 2,5 л/час, и измеренные величины влажностей в вершинах сетки при помощи персонального компьютера, выполнялось построение картограммы распространения влажности в почвенном профиле по фиксированному времени по часам полива. На картограммах выделялись контуры с одинаковой влажностью – изолинии, на которых отображалась влажность: 5; 10 40 %. На рисунке 2.4 а, б, в, г даётся схема изолиний для почвогрунта по времени.

Результаты, полученные по картограммам, показывают динамику распространения влаги в почвогрунте на дренажном слое во времени. Полная влагоёмкость соответствует 40% влажности почвогрунта, что видно по данным картограммам. Из опыта можно заключить, что вода при расходе капельницы 2,5 л/час достигает дренажного слоя через 4 часа после начала полива.



а – через 1 час полива; б – через 4 часа полива; в – через 8 часов полива;  
г – через 10 часов полива.

Рисунок 2.4 – Картограммы влажности в почвенном профиле на фильтрующем основании

Вода в почвогрунте имеет инертность движения к дренажному слою за счет различных причин, к которым можно отнести фильтрацию, поровое пространство почвогрунта (плотность) и ряд других.

На рисунке 2.5 приводится результат изменения предельной влажности объема почвогрунта для 10 часов подачи расхода, капельницей 2,5 л/час.

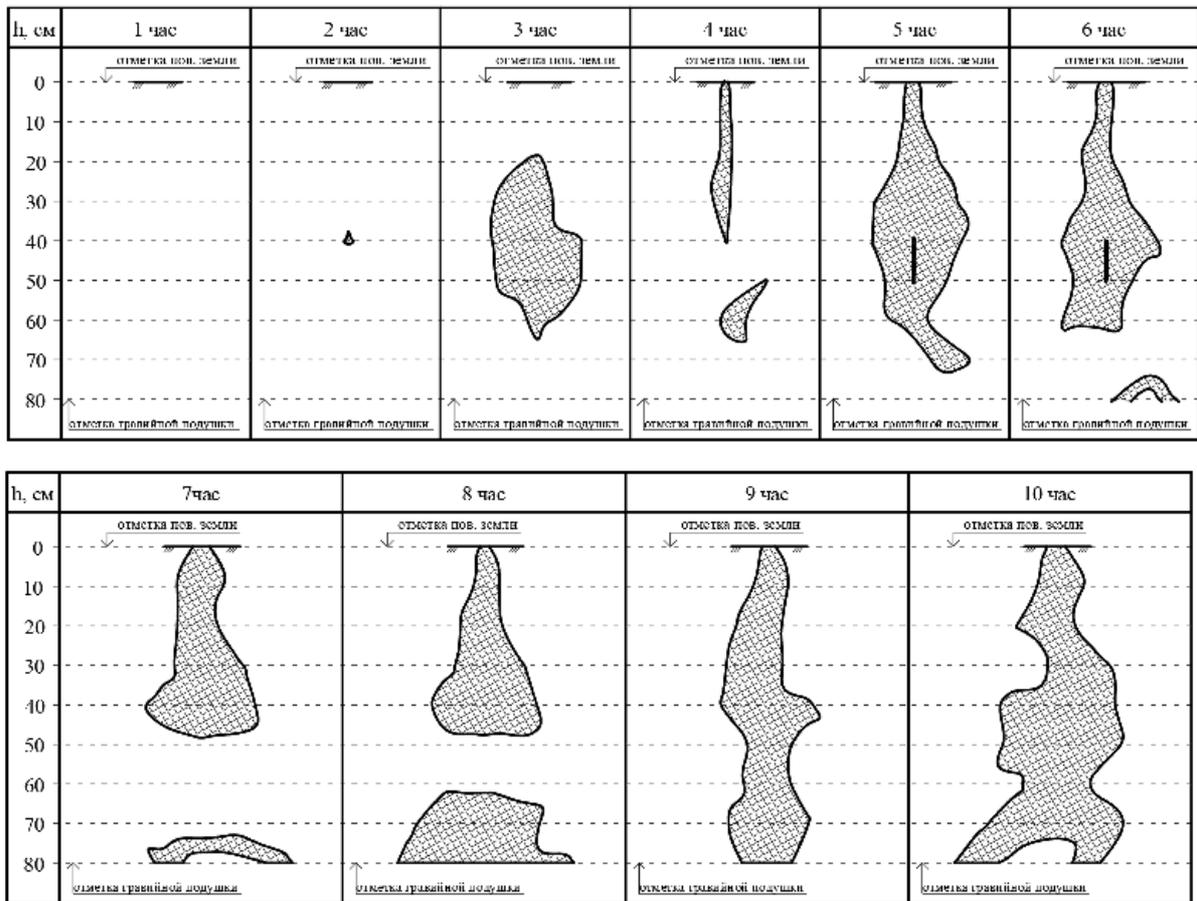


Рисунок 2.5 – Результат оцифровки измерений предельной влажности 40% во времени

После каждого часа, измерялись площади контуров увлажнения и линейные изменения радиусов распространения с шагом 5%. Для этого использовались полученные эмпирическим путём картограммы (рисунок 2.4) распределения влажности в почвенном лизиметре, выполнение по принципу палетки в *AutoCAD*. Площади между контурами определяются методом штрихования в векторном формате. Данная операция возможна в связи с функциональной способностью обмена файлов с *IndorCAD* при помощи экспорта в разрешении «.DXF». Следовательно, при переносе картограммы на палетку сокращается время выполнения операций и увеличивается точность результата.

Анализ данных картограмм даёт возможность проследить изменение линейных характеристик увлажнения для определения объема влажного контура. За основу расчета принята модель контура увлажнения на фильтрующем основании, преобразованный в равновеликий цилиндрический объем.

В результате обработки опытных данных установлена средневзвешенная влажность в контурах увлажнения от времени полива (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Изменение средневзвешенной влажности почвогрунта по времени

Опытные данные позволили установить в контурах увлажнения, полученные с шагом 5 % влажности, что средневзвешенная влажность в каждом контуре с 3-го часа находится в диапазоне 33-35 % (рисунок 2.6).

Исследования по объёму и времени дают закономерность изменения влажности в слое 0-0,8 м почвогрунта на фильтрующем основании, которые представлены на рисунке 2.7

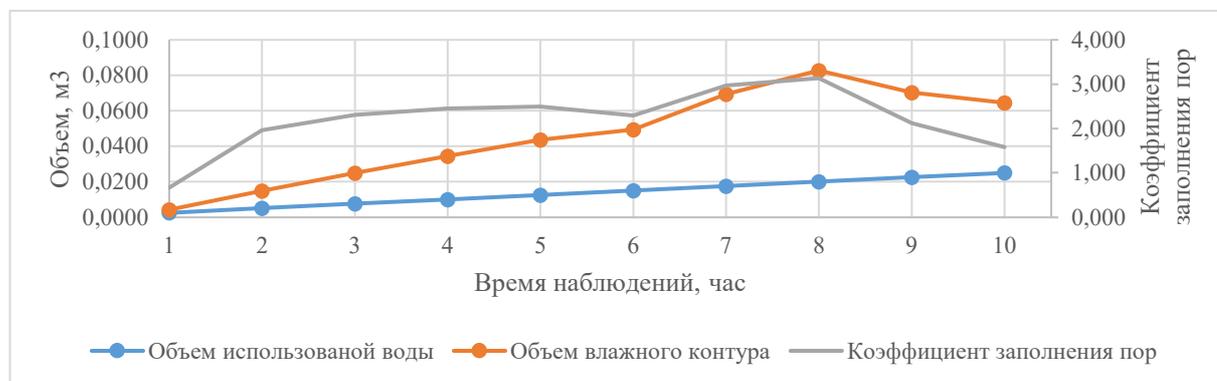


Рисунок 2.7 – Закономерность изменения объемов влажного грунта

Интегральный объем **поданной** воды установлен арифметическим суммированием норм полива в течение 10 часов (рисунок 2.7). Объем контура увлажнения при расчете включает сумму образованных цилиндрических объемов рассчитаны на глубину из схем картограмм (рисунок 2.5).

*Отношение объема контура увлажнения к объему поданной в почвогрунт воды на расчетный час наблюдений обозначим через **коэффициент заполнения пор почвогрунта водой (Кв)**.*

Динамика изменения объемов контура увлажнения и **Кв** показывают, что после 8-го часа эффективность полива снижается, при этом объем воды возрастает, что видно из графика (рисунок 2.7).

Выполнен математический анализ для установления достоверности проведенных исследований. Опытные данные по полученным геометрическим размерам контуров увлажнения, приводятся в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты обработки оцифровки измерений опытов

Время опыта, ч	Площадь контура увлажнения, м <sup>2</sup>	Коэффициентом заполнения пор	Объем влажного контура, м <sup>3</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч
1	0,053	0,67	0,00167527161	0,0025
2	0,153	1,962	0,00981149564	0,005
3	0,248	2,308	0,0173068009	0,0075
4	0,31	2,45	0,024499343	0,01
5	0,367	2,491	0,0311430205	0,0125
6	0,376	2,291	0,034361938	0,015
7	0,433	2,968	0,0519457764	0,0175
8	0,471	3,137	0,0627499355	0,02

При выполнении эксперимента выявлена зависимость распределения расхода воды внутри почвенного слоя. Движения влаги под действием гравитационных сил по направлению к фильтрующему основанию и за счет свободных пор в горизонтальной плоскости (рисунок 2.7). Объем смоченного грунта необходимо учитывать в течение 8 часов, что послужило основанием для анализа с помощью

описательной статистики, а именно с помощью линейной регрессии, при этом выявлена зависимость распределения расхода воды внутри почвенного слоя грунта. Применяя описательную статистику к полученным данным опыта, через X1 обозначен объем контура, X2 - коэффициент заполнения пор, X3 - площадь контура увлажнения, Y - Расход воды проведенный анализ описательной статистики в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты описательной статистики

	X1	X2	X3	Y
Минимальное значение	0,0017	0,67	0,053	0,0025
Среднее значение	0,0292	2,2846	0,3014	0,0113
Максимальное значение	0,0627	3,137	0,471	0,02
СКО	0,0206	0,7536	0,1427	0,0061
Медиана	0,0278	2,3790	0,3385	0,0113
Асимметрия	0,4321939	-1,4648922	-0,712803023	-5,92119E-16
$\Delta x$	0,01525	0,61675	0,1045	0,004375

Корреляционный анализ (таблица 2.7) показывает на основе коэффициентов корреляции зависимость между парами переменных, корреляция имеет сильную прямую связь, так как стремится к «+1».

Таблица 2.7 – Результаты корреляционного анализа

	X1	X2	X3	y
X1	1	0,867	0,948	0,985
X2	0,867	1	0,927	0,862
X3	0,948	0,927	1	0,974
y	0,985	0,862	0,974	1

Анализируя таблицу 2.7 следует отметить, что переменная X2 имеет самую минимальную зависимость, соответствующую низшему коэффициенту при сочетании с другими переменными, а значит статистической значимости не имеет.

Исключив зависимую X2, получаем таблицу 2.8 характеризующую сочетание наиболее согласованных факторов.

Таблица 2.8 – Результирующая таблица факторов

Время опыта, ч	Объем влажного контура, м <sup>3</sup> (X1)	Площадь контура увлажнения, м <sup>2</sup> , (X3)	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч (Y)
1	0,0017	0,053	0,0025
2	0,0098	0,153	0,005
3	0,0173	0,248	0,0075
4	0,0245	0,31	0,01
5	0,0311	0,367	0,0125
6	0,0344	0,376	0,015
7	0,0519	0,433	0,0175
8	0,0627	0,471	0,02

Регрессионная статистика факторов таблицы 2.8 показала: множественный коэффициент  $R=0,993$ ;  $R^2 =0,987$ ; нормированный  $R^2 =0,98$ ; при стандартной ошибке = 0,000835.

Таблица 2.9 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	0,000259015	0,000129508	185,8262	<b>2,03036E-05</b>
Остаток	5	3,48464E-06	6,96929E-07		
Итого	7	0,0002625			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
X1	0,18227979	0,048064285	3,792416556	<b>0,012727</b>
X3	0,016877474	0,006930032	2,435410748	<b>0,058986</b>

С учетом нулевой гипотезы следует, что показатель «P-Значение» для X3 более 5% и имеет высокий риск ошибки первого рода, что ведет за собой исключение из анализа так как он потенциально не является статистически значимым. Далее

следует упростить модель, до вида линейной регрессии. Результирующая таблица факторов примет вид таблицы 2.10.

Таблица 2.10 – Результирующая таблица факторов

Время опыта, ч	Объем влажного контура, м <sup>3</sup> (X1)	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч (Y)
1	0,0017	0,0025
2	0,0098	0,005
3	0,0173	0,0075
4	0,0245	0,01
5	0,0311	0,0125
6	0,0344	0,015
7	0,0519	0,0175
8	0,0627	0,02

Регрессионная статистика факторов таблицы 2.10 показала: множественный коэффициент  $R=0,985$ ;  $R^2 =0,97$ ; нормированный  $R^2 =0,966$ ; при стандартной ошибке = 0,000113.

Таблица 2.11 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,000254882	0,000254882	200,7393773	<b>7,72357E-06</b>
Остаток	6	7,61829E-06	1,26971E-06		
Итого	7	0,0002625			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	0,0027	0,000723382	3,725970364	<b>0,00978311</b>
X1	0,2932	0,020695584	14,16825244	<b>7,72357E-06</b>

На основе таблицы 2.11, при анализе по значениям «Значимость F» и «P-Значение» получена зависимость 2.4.

$$Y = 0,0027 + 0,2932X1 \quad (2.4)$$

где  $Y$  – Расход воды, м<sup>3</sup>/ч

$X_1$  - Объем влажного контура, м<sup>3</sup>

Зависимость сформирована на основании таблицы 2.11 и основана на расчетных коэффициентах, при которых стандартная ошибка менее 5%

Наилучшее предсказание зависимой переменной  $X_1$  выражает линия регрессии, для получения предсказуемой ее траектории построен график (рисунок 2.8).

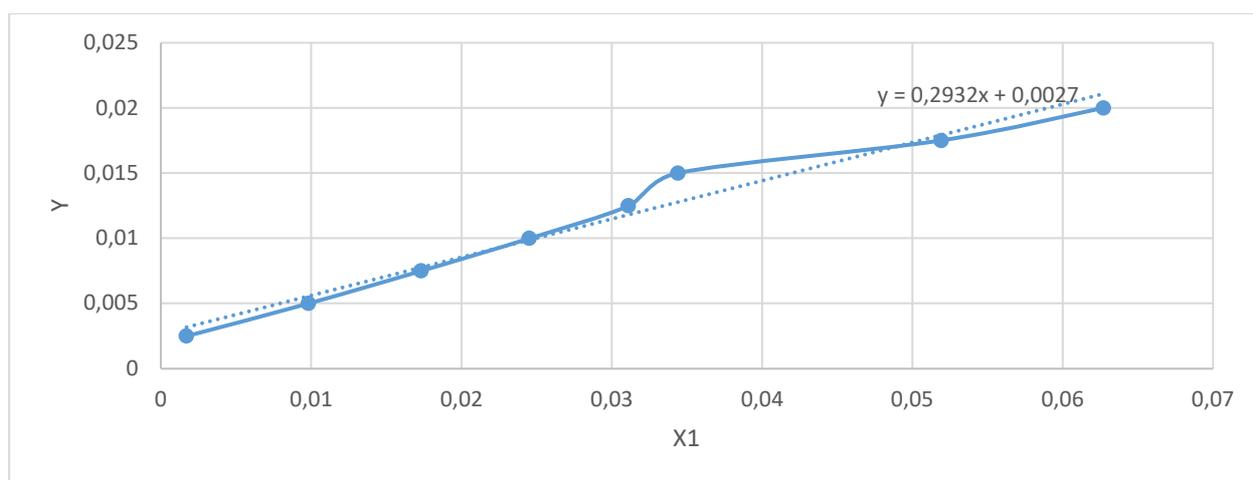


Рисунок 2.8 – график зависимости  $Y=f(X_1)$

Предсказания значений и остатки, на которые отражают отклонение отдельной точки линии регрессии приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Расчетные остатки

Время наблюдения, ч	Предсказанное $Y$	Ошибка	Остатки
1	0,003194	27,8%	-0,000693773
2	0,005569	11,4%	-0,000568857
3	0,007768	3,6%	-0,000268009
4	0,009879	1,2%	0,000120805
5	0,011814	5,5%	0,000685551
6	0,012782	14,8%	0,002217924
7	0,017913	2,4%	-0,00041343
8	0,02108	5,4%	-0,001080209

При реализации полива в почвогрунте изменяется водно-физический режим. Из этого следует процесс движения влаги и вытеснение воздуха. В таблице 2.12, ошибка первые два часа связана с порозностью сухого грунта впитать подаваемый расход воды, что отражается на рисунке 2.9 (фото выполнено в первые 20 минут с начала полива), очаг попадания воды из капельницы наглядно показывает образование блюдца, которое образует кратер по завершению.



Рисунок 2.9 – Полив через 20 минут первого часа

Ошибка, соответствующая шестому часу опыта, отражает достижение дренажного слоя контуром увлажнения с влажностью 40%. Уравнение регрессии для расхода использованной воды является верным и может использоваться для прогнозирования распределения поливной нормы в почвогрунтах имеющих фильтрующие подстилающие слои с применением СКО.

**ВЫВОДЫ по разделу 2:** 1. Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе в условиях горной зоны Северного Кавказа проведено с целью повышения эффективности сельского хозяйства и рационального использования водных ресурсов. Для этого в основу положена обработка контуров увлажнения почвы в процессе полива. А регрессионный анализ показывает, что результаты опытов в дальнейшем можно прогнозировать, используя полученную математиче-

скую зависимость 2.4. Эмпирическая зависимость регламентирует связь с требуемым расходом для водозаборного сооружения, через эффективный срок полива и контур смоченного грунта.

2. Анализ динамики изменения объема почвы позволил выявить особенности распределения влаги и эффективность использования воды в системах капельного орошения. Рациональное распределение во времени воды в системе капельного орошения было оценено с использованием коэффициента использования воды. Этот коэффициент наглядно отображает, как влажность изменяется во времени, указывая на неоднородность процесса перемещения воды в течении всего срока полива.

3. Получение зависимости позволили сделать вывод о неэффективном использовании воды при продолжительном поливе, свыше 8 часов. Процесс потерь воды в дренажном слое после данного времени приводит к неудовлетворительным результатам, а также к завышению поливных норм и увеличению мощности систем капельного орошения.

4. Для обеспечения оптимального увлажнения почвогрунта в пределах 0,7-0,8 НВ рекомендуется проводить полив культур не более 8 часов с учетом температурных условий. Математический анализ, основанный на множественной регрессии, подтвердил линейную зависимость расхода воды в почвенном слое и позволяет предсказывать поливные нормы для оптимального использования воды в системах капельного орошения.

### **3 РАЗРАБОТКА ШКАЛЫ РИСКОВ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРА ОТ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АН- ТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

#### **3.1 Природные факторы, влияющие на мелиоративный водозабор**

##### **3.1.1 Гидрологический режим водного источника. Межень и паводок**

Река Белая является вторым по величине притоком реки Кубань. Русло реки характеризуется извилистостью на всем ее протяжении, при этом участки сужения чередуются с участками расширения. В верхнем участке река протекает сквозь узкое и глубокое ущелье. В горной части до достижения города Майкопа, русло реки заполнено крупными камнями и покрыто слоем галечных наносов. В нижнем течении, в равнинной части, русло реки имеет песчаное дно с включениями гальки и гравия, которое подвержено деформации в значительной степени.

Средняя глубина реки до 1 метра, а скорость течения достигает 3 м/с. Берега в предгорной и равнинной частях подвержены эрозии. В равнинной части русло реки характеризуется высокой извилистостью. Основной источник питания реки: смешанный с преобладанием снегового, но со значительной долей дождевого. Доля грунтового питания невелика.

Характеристики гидрологического режима реки Белой включают ярко выраженные сезонные изменения в уровне воды. Из-за частого появления дождевых паводков характеристики гидрографа реки Белой приобретают гребенчатую форму, как показано на рисунке 3.1.

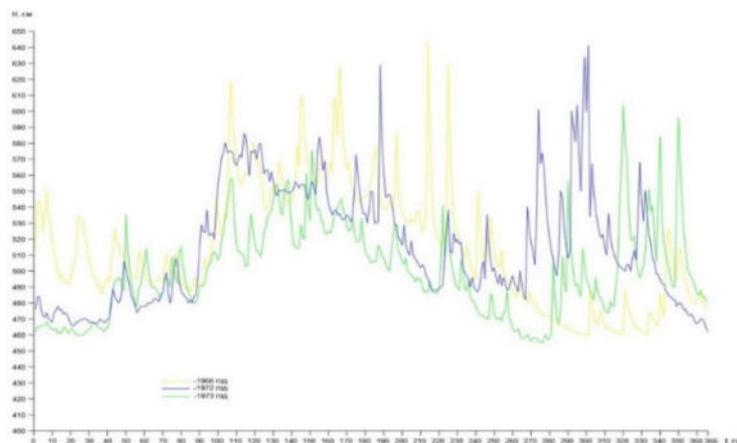


Рисунок 3.1 – Гидрограф р. Белой

Гидрографические особенности рек Северного Кавказа в значительной степени определяются горным рельефом и климатическими условиями региона. Реки этого региона обладают достаточно высокой паводковой активностью. Среднегодовое количество дождевых паводков составляет 15-18, хотя в некоторые годы — это число может увеличиваться и достигать 20-25. Длительность подъема паводковых волн достигает пяти дней, в течение которых природные силы величественно совершают свой подъем. Начиная с середины марта и продолжаясь до августа, наступает период половодья.

По завершении периода половодья, водный режим реки подчиняется осадкам, выпадающим в ее бассейне. Паводковый режим продолжается до второй половины декабря, подчеркивая нестабильность зимней межени, которая часто нарушается яркими дождевыми паводками. Величина колебания уровня воды достигает 3-4 метров.

Забор воды из р. Белой для СКО ООО КХ «Мускат» осуществляется у ст. Абадзехской Республики Адыгея Майкопского района с координатами 44°22'23,56" с.ш. и 40°11'55,52" в.д. русла реки (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Створ водозаборного сооружения для СКО

В месте водозабора наблюдений по стоку не проводилось, поэтому были выполнены гидрометеорологические изыскания. За ближайшую станцию наблюдений был принят гидрометрический пост у пос. Каменноостский, расположенный на 180км от устья реки на наиболее близком расстоянии к расчетному створу: высший уровень реки – 486м (20.04.15), низший уровень реки – 300м (20.10.15).

### **3.1.2 Морфология и геология русла реки**

Морфология на исследуемом участке реки также имеет решающее значение для обоснования выбора конструкции захватывающих фильтров. Размер фильтра в створе водозабора определяется типом грунта русла и его сложением. Осадочные породы представлены майкопскими отложениями, которые можно представить, как породы, относящиеся к глинам. На рисунке 3.5 представлен геологический разрез в месте водозабора.



Рисунок 3.5 – Геологический разрез в створе мелиоративного водозабора

Ложе реки покрыто аллювиальными отложениями, под которыми находятся плотные майкопские синие глины, местами выпячивающиеся на поверхность. Глины имеют плотность 1,3-1,4 т/м<sup>3</sup> и 4 группу по разработке землеройными машинами. При строительстве водозаборного сооружения в русле реки необходимо учитывать геологические, морфологические и гидрологические условия в условиях горной местности.

### 3.1.3 Режим наносов

Сток взвешенных наносов реки Белая в естественном состоянии составляет 55 кг/с при средней мутности 590 г/м<sup>3</sup>. Основная доля наносов проходит с мая по июнь – 67%, наименьший сток – в августе-октябре и в январе (таблица 1.1).

Таблица 3.1– Данные по стоку наносов реки Белая

№	Река - пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Сток взвешенных наносов, млн. т.	Сток влеченных наносов, млн. т	Суммарный сток, млн. т
1	Р. Белая – х. Северный	5790	0,95	0,11	1,06

В гранулометрическом составе взвешенных наносов преобладают фракции <0,1мм (80%), в составе влекомых наносов преобладают фракции > 10мм (80%).

Годовой сток реки Белая определяется характером питания: дождевая составляющая годового стока – 54%; грунтовая составляющая – 23%; ледниковая составляющая – 15%; снеговая составляющая – 10%. Параметры и величины годового стока реки Белая приводятся в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Параметры и величины годового стока реки Белая

Река - створ	Параметры кривой обеспеченности			Характеристика стока	Годовой сток обеспеченностью, %		
	Q (м <sup>3</sup> /с)	Cv	Cs		50	75	95
Река Белая – расчетный створ 176 км от устья	51	0,22	2Cv	Q (м <sup>3</sup> /с)	49,1	75	33,3
				V (млн. м <sup>3</sup> )	1548	1320	1030

Таблица 3.3 – Внутригодовое распределение годового стока в створе водозабора

Водность	Размерность													Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средний P=50%	%	5	4,1	10,9	20	13,8	10	6,2	3,3	1,8	5,3	5,5	14,1	100
	млн.м <sup>3</sup>	77,4	63,5	168,7	309,6	213,6	154,8	96	51,1	27,9	82	85,1	218,3	1548
Маловодный P=75%	%	3,9	5	7,7	20,2	15,3	8,3	5,8	5,7	3,4	4,1	7,7	12,9	100
	млн.м <sup>3</sup>	51,5	66,0	101,6	266,6	202	109,6	76,6	75,2	44,9	54,1	101,6	170,3	1320
Очень маловодный P=95%	%	3,8	6,3	8,6	23,6	20,6	10,3	7,1	5,4	3,6	3,4	3,1	4,1	100
	млн.м <sup>3</sup>	39	66,2	90,3	247,8	216,3	108,1	74,6	56,8	37,8	35,7	32,5	43,2	1050

Наиболее обильный период стока воды приходится на март-июнь, в течение которого наблюдается 50-60% годового объема стока. В этом периоде особенно высокая водность наблюдается в мае. С другой стороны, наименьшей водностью, 20-25% от годового стока составляет осенне-зимний период.

Гидрологические условия горных рек оказывают большое влияние на захватывающую способность воды в системы орошения, и в том числе – системы капельного орошения.

Особенностью гидрологических режимов р. Белая являются высокие скорости, малые глубины в межень, донные и в толще поток наносы. На режим оказывают влияние извилистость, перекаты и уклоны участков рек, где проектируются водозаборные сооружения.

Как показали исследования выбранный участок водозабора в СКО на р. Белая имеет ряд преимуществ в гидрологическом плане, т.к. располагается на правом берегу, где наблюдается набегающий поток от левого берега на место размещения водозабора от её поворота.

Режим наносов определяет конструкцию и тип фильтра водозабора. Размер наносов определяется транспортирующей способностью потока, стоком реки. Объем взвешенных наносов составляет 0,95млн. т. Наиболее опасны влекомые наносы, которые в горных условиях разрушают водозаборные сооружения. Общий объем наносов в русле реки - 1,06 млн. т. Наносы перемещаются в потоке и по дну русла и имеют размеры на участке водозабора 5-300 мм. Дно русла реки сформировано осадочными морфометрическими плотного сложения породами, практически не размываемыми. Донные отложения из гравия покрывают осадочные породы и имеют окатанные формы (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 –Наносы в русле реки в створе водозабора

## **Выводы.**

1. Устойчивость мелиоративного водозабора определяется гидрологическим режимом, с высокими скоростями в паводок и малыми глубинами в межень. На режим оказывают влияние извилистость, перекаты и уклоны участков рек, донные и в потоке наносы, где проектируются водозаборные сооружения. Скорости потока на фарватере достигают 2,0-2,2 м/с, а набегающие скорости к МВ – 1,2-1,3 м/с. В этих условиях необходимо обеспечивать защиту водозабора от размыва и отложений наносов на фильтре. Поэтому, захватывающую фильтровальную часть необходимо выполнять таким образом, чтобы она обеспечивала требуемый забор воды при любом гидрологическом режиме реки (паводок - межень).

2. Адаптированный мелиоративный водозабор должен обеспечивать подачу воды учитывая гидрологию стока, морфологию и геологическое строение русла реки, и выполнение режима орошения интенсивного яблоневого сада в горных условиях Северного Кавказа.

## **3.2 Антропогенные факторы**

### **3.2.1 Защита гидробионтов**

Величина потерь водных биоресурсов определена с учетом максимального воздействия неблагоприятных факторов, возникающих при отборе воды из реки Белая. Вред рыбным запасам может быть вызван: полной потерей или снижением рыбопродуктивности водоема (или его части) вследствие ухудшения условий размножения, нагула и зимовки рыб, в частности, вследствие потерь участков местобитания; частичной или полной гибелью, или снижением продуктивности кормовых организмов рыб и других объектов промысла; непосредственной гибелью рыб и других промысловых объектов на разных стадиях их развития.

Определение потерь водных биоресурсов при заборе воды из водного объекта рыбохозяйственного значения от гибели кормовых организмов зоопланктона выполняется по формуле (3.1) «Методики исчисления размеров вреда ..., 2011»:

$$N = n_{\text{им}} \times W \times [(100 - K_0) / 100] \times (K_1 / 100) \times p \times \Theta \times 10^{-3}, \quad (3.1)$$

где:  $N$  - потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг или т;

$n_{\text{им}}$  - средняя за период встречаемости данной стадии или весовой категории концентрация (численность) рыб в зоне водозабора, экз./м<sup>3</sup>;

$W$  - объем воды, забираемой водозабором за расчетный период, м<sup>3</sup>;

$K_0$  - коэффициент эффективности рыбозащитного сооружения (РЗС) на водозаборном сооружении, определяемый как отношение количества рыб, гибель которых предотвращается РЗС, к числу рыб, которые погибли бы в водозаборном сооружении без оборудования его РЗС, %;

$K_1$  - коэффициент пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), %;

$p$  - средняя масса рыб промысловых размеров, г, кг;

$\Theta$  - величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и время восстановления (до исходной численности, биомассы) теряемых водных биоресурсов, которая определяется согласно пункту 51 настоящей Методики;

$10^{-3}$  - множитель для перевода граммов в килограммы или килограммов в тонны.

Определение потерь водных биоресурсов при заборе воды из водного объекта рыбохозяйственного значения от гибели кормовых организмов зоопланктона выполняется по формуле (5.2) «Методики исчисления размеров вреда ..., 2011»:

$$N = B \times (1 + P/B) \times W_0 \times K_E \times (K_3/100) \times d \times 10^{-3}, \quad (3.2)$$

где  $N$  – потери водных биоресурсов, кг или т;

$V$  – средняя многолетняя для данного сезона (сезонов) биомасса кормовых организмов, г/м<sup>3</sup>;

$P/V$  – коэффициент для перевода средней биомассы кормовых организмов в их годовую продукцию (продукционный коэффициент);

$W_0$  – объём воды в зоне воздействия, в котором прогнозируется гибель (или снижение продуктивности) кормовых планктонных организмов (м<sup>3</sup>);

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост,  $K_E = 1/K_2$  (является обратной величиной кормового коэффициента  $K_2$  для перевода продукции и биомассы кормовых организмов в рыбопродукцию, выраженного в %);

$K_3$  – коэффициент (доля) предельно возможного использования кормовой базы её потребителями в условиях данной экосистемы и времени года, %;

$d$  – коэффициент интенсивности неблагоприятного воздействия, равный отношению величины теряемой биомассы к исходной биомассе (в долях единицы) – 1 при 100 % гибели, 0,5 при 50 % гибели и т. д.;

$10^{-3}$  – множитель для перевода граммов в килограммы или килограммов в тонны.

Таблица 3.1 – Расчёт потерь водных биоресурсов вследствие гибели зоопланктона

В зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	Доля гибели, % /100	Объём воздействия ( $W_0$ , $W_{пр}$ ), м <sup>3</sup>	$1 + P/V$	$K_E = 1/K_2$	$K_3/100$	Теряемая биомасса промысловых объектов, кг
0,25	1,0	803 000	19	0,1	0,5	<b>190,71</b>

Исчисление потерь водным биоресурсам от гибели фитопланктона при заборе воды из водного объекта производится с учётом средних суточных объёмов водозабора ( $W_{сут}$ ), суточного  $P/V$ -коэффициента для соответствующего сезона (или сезонов) по формуле:

$$N = B \times (1 + P/V_{\text{сут}}) \times W_{\text{сут}} \times t_{\text{сут}} \times K_E \times (K_3/100) \times d \times 10^{-3}, \quad (3.3)$$

где  $N$  – потери водных биоресурсов, кг или т;

$B$  – средняя за период воздействия (месяцы, сезоны) величина общей биомассы кормовых планктонных организмов ( $\text{г}/\text{м}^3$ );

$P/V_{\text{сут}}$  – средний суточный продукционный коэффициент перевода биомассы фитопланктона в продукцию (для данного сезона или сезонов);

$W_{\text{сут}}$  – средний суточный объём водозабора ( $\text{м}^3$ );

$t_{\text{сут}}$  – продолжительность водозабора, суток;

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост (для пищевой цепи «фитопланктон - рыбы», либо объединенный для пищевой цепи «фитопланктон- зоопланктон-рыбы»),  $K_E = 1/K_2$  (является обратной величиной кормового коэффициента  $K_2$  для перевода продукции и биомассы кормовых организмов в рыбопродукцию, выраженного в %);

$K_3$  – средняя для данной экосистемы (района) и сезона доля использования кормовой базы (для пищевой цепи «фитопланктон – рыбы», либо объединенная для пищевой цепи «фитопланктон-зоопланктон-рыбы»), %;

$d$  – степень воздействия, или доля количества (в данном случае биомассы) гибнущих организмов от общего их количества, в долях единицы;

$10^{-3}$  – множитель для перевода граммов в килограммы или килограммов в тонны.

Таблица 3.2– Расчёт потерь водных биоресурсов вследствие гибели фитопланктона

В фитопланктона, $\text{г}/\text{м}^3$	Доля гибели, %/100	Объём воздействия ( $W_{\text{сут}}$ ), $\text{м}^3$	$t_{\text{сут}}$	$1 + P/V$	$K_E = 1/K_2$	$K_3/100$	Теряемая биомасса промысловых объектов, кг
0,17	1,0	13163,93	61	1+0,41	0,033	0,5	<b>3,18</b>

Расчет вреда от гибели ихтиопланктона (пелагической икры, личинок, ранней молоди), для которого эффективность рыбозащитного устройства равна нулю, исчисляется по формуле:

$$N = n_{\text{пи}} \times W \times (K_1/100) \times p \times 10^{-3}, \quad (3.4)$$

где:  $N$  - потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг или т;

$n_{\text{пи}}$  - средняя за период встречаемости данной стадии или весовой категории концентрация (численность) икры, личинок или ранней молоди в зоне воздействия, экз./м<sup>3</sup>;

$W$  - объем воды в зоне воздействия, в котором прогнозируется гибель икры, личинок или ранней молоди видов водных биоресурсов, которые используются или могут быть использованы в целях рыболовства, м<sup>3</sup>;

$K_1$  - коэффициент пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), %;

$p$  - средняя масса рыб промысловых размеров, г, кг;

$10^{-3}$  - множитель для перевода граммов в килограммы или килограммов в тонны.

За расчетный период принимаются сезоны (месяцы), когда в воде присутствует ихтиопланктон.

Таблица 3.3 – Потери рыбопродукции в результате гибели ихтиопланктона при заборе воды

Вид рыбы, стадия развития	Концентрация, экз./м <sup>3</sup>	Коэффициент промвозврата, %	Средняя масса особи, кг	Потеря продукции, кг
Чехонь	0,008	0,02	0,150	0,29

### **3.2.2 Защита от наносов**

Антропогенные факторы, такие как строительство плотин, дамб, и изменения в использовании земель, оказывают серьезное воздействие на поток реки. Изменение природных условий водотока может значительно усилить транспорт наносов, внося дополнительные вызовы в области защиты берегов. Одним из традиционных методов защиты берегов от размыва является использование каменных набросок. Однако, в условиях горных рек с высокой скоростью потока, эти методы могут оказаться недостаточно эффективными. Большие диаметры камней и необходимость в объемных отсыпках делают такие проекты дорогостоящими и трудоемкими. Антропогенных факторов на защиту от наносов в речных водотоках требует комплексного и научно обоснованного подхода. Переход от традиционных методов, таких как каменные наброски, к более инновационным, вроде переливных шпор, представляет собой шаг вперед в обеспечении устойчивости береговых линий в условиях антропогенного воздействия.

### **3.2.3 Захват воды**

В условиях антропогенного воздействия, связанного с изменением природных ландшафтов и использованием земель, захват воды подвергается существенному воздействию, что влечет за собой широкий спектр последствий. Эти изменения влияют на поверхностный захват воды, ограничивая ее естественный поток и приводя к формированию водоемов и водохранилищ. Поверхностные изменения, связанные с антропогенными воздействиями, могут существенно воздействовать на доступность водных ресурсов для экосистем и общества. Строительство гидротехнических сооружений, таких как плотины и каналы, является еще одним аспектом антропогенного воздействия на захват воды. Эти инфраструктурные проекты часто влияют на грунтовые воды, приводя к изменению уровней подземных вод. Подземные воды являются важным источником пресной воды, и их изменение может при-

вести к экологическим и гидрологическим дисбалансам. Изменение потока рек, регулирование водотоков и дефорестация приводят к снижению уровней воды в реках и ручьях. Это может привести к сокращению доступности воды для биоты и угрозе экосистем, зависящих от стабильных водных условий, вызывая серьезные изменения в гидрологическом цикле и экосистемах. Понимание этих воздействий необходимо для разработки научно обоснованных и устойчивых стратегий управления водными ресурсами

### 3.2.4 Влияние уровня

Как видно из рисунка 3.4 набегающий поток не размывает русло, т.к. на этом участке создаётся касательные скорости вдоль правого берега за счет потока фарватера, который прижимается к правому берегу за счет поворота реки на участке. Фарватер располагается в 12 м от места водозабора.



Рисунок 3.4 – Схема забора воды из р. Белая для СКО

Скорость течения на фарватере составляет от 2,0 до 2,2 м/с, а набегающая поперечная скорость потока колеблется от 1,2 до 1,3 м/с. Это обеспечивает естествен-

ную защиту места водозабора от эрозии и отложения осадочных материалов. Глубины потока в районе водозабора варьируются от 0,5 м в период межени до 3-5 м во время паводков, в зависимости от гидрологического режима речного стока

Наиболее напряженным периодом является меженный период (согласно диаграмме 3.1), который наступает в июле-августе и является критическим как для реки, так и для сада. В этот период садовым хозяйствам требуется обеспечить максимальное потребление воды для формирования урожая. Поэтому основной задачей является добыча воды из реки во время межени для сельскохозяйственного использования. С другой стороны, во время паводков, которые могут быть краткосрочными в гористых районах и могут происходить даже в период межени, необходимо обеспечить сохранность и работоспособность водозаборных сооружений. Поэтому, конструкцию захватывающей фильтровальной части – фильтра необходимо выполнять таким образом, чтобы она обеспечивала требуемый забор воды для любого гидрологического режима реки (паводок- межень).

### **3.3 Обоснование рисков для выбора типа мелиоративного водозабора**

Эксплуатация мелиоративного водозабора (МВ) должна иметь минимум рисков по наступлению неблагоприятных событий, которые могут возникнуть от природных и антропогенных факторов. При воздействии природных факторов при эксплуатации водозабора создаются риски от заиления русла в створе, обмеления реки в межень, качества воды, паводков. Антропогенные факторы обуславливают риски: несовершенная защита биоресурсов реки; снижение скорости фильтрации на водозаборе и др.

Риски, возникающие при эксплуатации водозабора от воздействия природных факторов:

- гидрологический режим водного источника – р. Белой (рисунок 3.1), который во время вегетационного периода культур чередуется максимальными паводками

и меженью, - риски качества и количества захвата воды при максимальных и минимальных уровнях, соответственно;

- морфология русла, зависящая от геологического строения и уклонов русла, создает риск миграции реки в створе, обуславливает риск размыва, смещения оси потока от водозабора;

- режим наносов, риск разрушения или заиления водозабора.

Риски при эксплуатации водозабора от воздействия антропогенных факторов:

- защита гидробионтов от попадания в водоприёмные окна водозабора, риск обусловлен гибелью биоресурсов;

- конструктивная защита от наносов, риск прекращения подачи воды от заиления сооружения и выхода из строя гидромеханического оборудования;

- надежность захвата воды водоприемными элементами сооружениями, обуславливает риски по качеству воды, заилению прудов-накопителей, подачи воды к растениям;

- зависимость от уровней, риск остановки гидромеханического оборудования и его поломки при недостаточных уровнях в реке.

Следовательно, на эксплуатацию всех сооружений оказывают влияние риски подачи воды в систему КО. При снижении устойчивости МВ риск наиболее значителен. Учитывая нестабильность факторов в горных условиях, принята методика ресурсного подхода к оценке выбора МВ по основным рискам от природных и антропогенных факторов, т.к. *общим условием для всех мелиоративных водозаборов является водный ресурс, который в виде необходимого количества и качества непрерывно подается в СКО для возделывания сельскохозяйственных культур.*

Для оценки выбора водозаборного сооружения применяется комплексный интегральный показатель рисков (ИПР), включающий набор частных рисков природного и антропогенного факторов. По ИПР выполняется оценка основных типов водозаборных сооружений для горных условий. К которым относятся: относятся: фильтрующие, ковшовые, траншейные водозаборы и комбинированные водозаборы, включающие элементы фильтрации в ковшах или траншеях.

Для выбора типа МВ для горных условий принимается энергетический метод оценки. Поток рассматривается, как энергетический ресурс, обеспечивающий устойчивую работу водозабора с неразрывной гидравлической связью в системе: река, водозабор, трубопроводная и поливная сеть в системе капельного орошения.

Поэтому СКО рассматривается в виде неразрывного потока энергии, как непрерывное векторное поле фильтрационных токов воды, где компоненты векторов описываются уравнением Дарси:

$$v = k \frac{h}{l} \quad , \quad (3.5)$$

где  $v$  скорость фильтрации, м/с;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $h$  – напор воды в фильтре, м;  $l$  – длина пути фильтрации, м.

Компоненты векторов скорости фильтрации  $v_x$  и  $v_y$  по соответствующим приращениям осей координат ( $ox$  и  $oy$ ) имеют вид:

$$v_x = -k(x, y) \frac{\partial h}{\partial x}; \quad v_y = -k(x, y) \frac{\partial h}{\partial y} \quad . \quad (3.6)$$

Фильтрующий поток в мелиоративном водозаборе с учетом компонентов векторов скорости описывается уравнением неразрывности :

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0. \quad (3.7)$$

Или

$$\frac{\partial}{\partial h} \left[ k(x, y) \frac{\partial h}{\partial x} + k(x, y) \frac{\partial h}{\partial y} \right] = 0. \quad (3.8)$$

При движении жидкости в однородной среде  $k = const$ , уравнение (3.4) обращается в уравнение Лапласа:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0. \quad (3.9)$$

Из уравнения (3.5) следует, что жидкость имеет потенциал и является гармонической функцией координат. Следовательно, вектор с компонентами скоростей (3.2) через живые сечения высотой  $h(x, y)$  и шириной равной единице измерения, перпендикулярен осям  $ox$  и  $oy$  имеет потенциал. Откуда следует, что энергетическое состояние потока описывается уравнением Эйлера в границах живых сечений, где при пересечении последних должен соблюдаться баланс энергии. Оценка баланса энергетического состояния потока определяется необходимым и достаточным ресурсом, который отражается в виде комплексного интегрального показателя риска о применимости какой – либо конструкции мелиоративного водозабора в условиях системы.

При обосновании конструкции водозаборного сооружения по рискам подачи воды в СКО опирались на исследования А. И. Голованова, И. П. Айдарова, А. Д. Гумбарова, С. М. Васильева, В. Н. Щедрина и др. При разработке методики выбора МВ для СКО используется методика рисков по ИПР, разработанная Е. В. Кузнецовым и А. Е. Хаджиди.

Рассмотрим последовательность этапов выбора типа МВ для эксплуатации в горных условиях:

1). Ожидание рисков от природных и антропогенных факторов, где формируются необходимые и достаточные риски для устойчивого развития МВ по энергетическому состоянию ресурса.

2). Разработка факторной шкалы рисков, которая позволяет с помощью экспертных оценок определить устойчивость системы по ресурсу и каждому риску системы.

3). Исследование ресурса по энергетической модели безопасности рисков МВ на адекватность. Для решения задачи применяется нахождение нормы векторов тока из Гёльдеровой нормы  $n$ -мерных векторов.

4). Модернизация и оптимизация факторной шкалы рисков.

Воздействие потока на живое сечение определяет риски системы, и можно предположить, что энергетическое ресурсное состояние потока определяется ИПР. Риски зависят от интенсивности энергии, чем выше изменение интенсивности потока энергии на элементарном живом сечении, тем больше опасность появления рисков МВ.

Интенсивность энергии в живом сечении для МВ описывается математической моделью в виде:

$$e = \frac{\partial E}{\partial S} \cdot \frac{\partial E}{\partial T} \cdot \cos \alpha, \quad (3.10)$$

где  $e$  – интенсивность энергетического потока вещества в живом сечении;  $S$  – площадь живого сечения;  $T$  – времени действия энергии на живое сечение;  $E$  – энергия потока;

$\frac{\partial E}{\partial S}$  – удельная энергия;

$\frac{\partial E}{\partial T}$  – производная мгновенной энергии потока;  $\alpha$  – угол отклонения потока энергии от нормали.

Из (3.6) при  $\cos \alpha = 1$ , получается:

$$e = f(S, T) = \frac{\partial^2 E}{\partial T \cdot \partial S} \quad (3.11)$$

Функцию  $e = f(S, T)$  следует применять для оценки единичных рисков в виде векторов элементарных живых сечений потока. Для вычисления энергии ресурса

$E_n$  живого сечения потока выполняется интегрирование (3.7) по времени  $t$  и относительной площади элементарного живого сечения, в результате получается выражение:

$$E_n = \int \left[ \int e(\zeta, t) dt \right] d\zeta, \quad (3.12)$$

Из (3.8) следует, что энергия  $E_n$  интегрирует  $n$  одновременно возникающих рисков, как в пространстве, так и по продолжительности их действия в живом сечении векторного поля скоростей. Для перехода от выражения (3.8) к Предгильбертовому пространству, где векторное поле можно оценить его нормой - функционалом, заданным на векторном пространстве, а векторное поле с нормой будет нормированным пространством.

С учетом принятых ранее допущений, имеется случай линейного нормированного пространства, где любое Предгильбертово пространство можно считать нормированным, так как скалярное произведение порождает естественную норму:

$$\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}, x \in X, \quad (3.13)$$

где  $\|x\|$  — норма элемента  $\mathbb{R}$ -векторного пространства.

Норму вектора (элементарного живого сечения) можно определять из Гёльдеровой нормы  $n$ -мерных векторов:

$$\|x\|_p = \left( \sum |x_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (3.14)$$

где  $p \geq 1$  - натуральное число.

При  $p = 1$  норма опасности для живого сечения из (3.10) будет:

$$\|x\|_1 = \sum |x_i|, \quad (3.15)$$

где  $x_i$  – норма элемента  $n$ -векторного пространства.

При  $x_i = R_i$ , ( $R_i$  – индикатор риска соответствующий норме  $\|x\|_1$ ) и одновременном воздействии  $n$  мерных индикаторов рисков из (3.11) следует:

$$R_{\text{ипр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \quad (3.16)$$

где  $R_{\text{ипр}}$  – интегральный показатель рисков, индикатор, показывающий состояние мелиоративного водозабора по рискам эксплуатации;  $\sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  – сумма индикаторов риска  $R_i$  в системе  $n$  рисков живого сечения потока.

Из (3.12) следует, что интегральный показатель устойчивой эксплуатации мелиоративного водозабора должен стремиться к минимуму рисков, выразив  $R_{\text{ипр}}$  через  $R_{\text{МВ}}$ , получим:

$$R_{\text{ипр}} = R_{\text{МВ}} \rightarrow R_{\text{min}}. \quad (3.17)$$

$$R_{\text{МВ}} \leq R_{\text{КР}},$$

где  $R_{\text{min}}$  – параметр, отвечающий минимуму рисков эксплуатации мелиоративного водозабора;  $R_{\text{КР}}$  – параметр критического состояния эксплуатации мелиоративного водозабора, выше которого система разрушается.

Математическое выражение (3.13) является моделью устойчивой эксплуатации мелиоративного водозабора. С помощью модели (3.13) выполняется выбор типа и оценка МВ по рискам от природных и антропогенных факторов.

С учетом (3.12) из (3.13) получается окончательное математическое выражение для модели устойчивой эксплуатации мелиоративного водозабора:

$$R_{MB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \rightarrow R_{min} \quad (3.18)$$

Из (3.14) следует, что мелиоративный водозабор должен отвечать минимуму рисков ( $R_{MB} \rightarrow R_{min}$ ), но это не означает, что при этом будет обеспечиваться устойчивое развитие системы КО.

Минимум интегральных рисков должен не превышать критический интегральный параметр рисков. И это означает, что имеется такой параметр  $R_{кр}$ , больше которого система теряет устойчивость. Следовательно, ресурсная модель (3.14) будет иметь окончательный вид:

$$R_{MB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \leq R_{кр} \quad (R_{MB} \rightarrow R_{min}), \quad (3.19)$$

где  $R_{MB}$  - интегральный безразмерный показатель мелиоративного водозабора, отображающий состояние ресурса;  $R_i$  - безразмерный индикатор частного ( $i$ ) риска;  $n$  - количество индикаторов риска.

Модель (3.15) считается ресурсной, т.к. выражает математическую зависимость интегрального показателя ресурса от природных и антропогенных факторов, выраженных в безразмерных индикаторах частных рисков в количественных и качественных показателях системы.

### 3.4 Разработка бальной шкалы рисков мелиоративного водозабора

При оценке МВ принимали участие 25 экспертов, каждый из которых заполнял таблицу 3.5. Воздействие факторов на ресурсы учитывались по ресурсной модели (3.15), а окончательная обработка данных проводилась по формуле (3.16). Количество факторов может быть не ограниченное число, но при оценке МВ достаточно иметь значения основных факторов, которые отражают действительное состояние МВ для забора воды из горной реки.

В факторной шкале принята градация оценок по 4 баллам (таблица 3.1). Каждой оценке соответствует диапазон баллов по частному риску МВ, рассматриваемой конструкции. Оценка выбора МВ для конкретных условий эксплуатации даётся экспертами, которых должно быть не менее 3. Оценка «хорошо» принимается в диапазоне баллов – 1,0-1,5, что означает – частный риск минимален, он не влияет на работу мелиоративного водозабора; оценка «удовлетворительно» соответствует баллу в диапазоне 1,5-2,0; оценка «неудовлетворительно» соответствует баллу в диапазоне 2,0-3,0 – риски периодически оказывают негативное влияние на работу МВ; оценка соответствующая баллу в диапазоне 3,0-4,0 – показывает, что водозабор не удовлетворяет требованиям устойчивой работы.

При разработке шкалы оценки рисков учитывались частные риски различных факторов, воздействующих на мелиоративные водозаборы. Для СКО рассматриваются четыре типа мелиоративных водозаборов, которые могут использоваться в горных условиях р. Белой: МВ1- фильтрующий водозабор; МВ2 – Ковшовый водозабор; МВ3 –траншейный и ФМВ4 – комбинированный, включающий элементы ковша и фильтра.

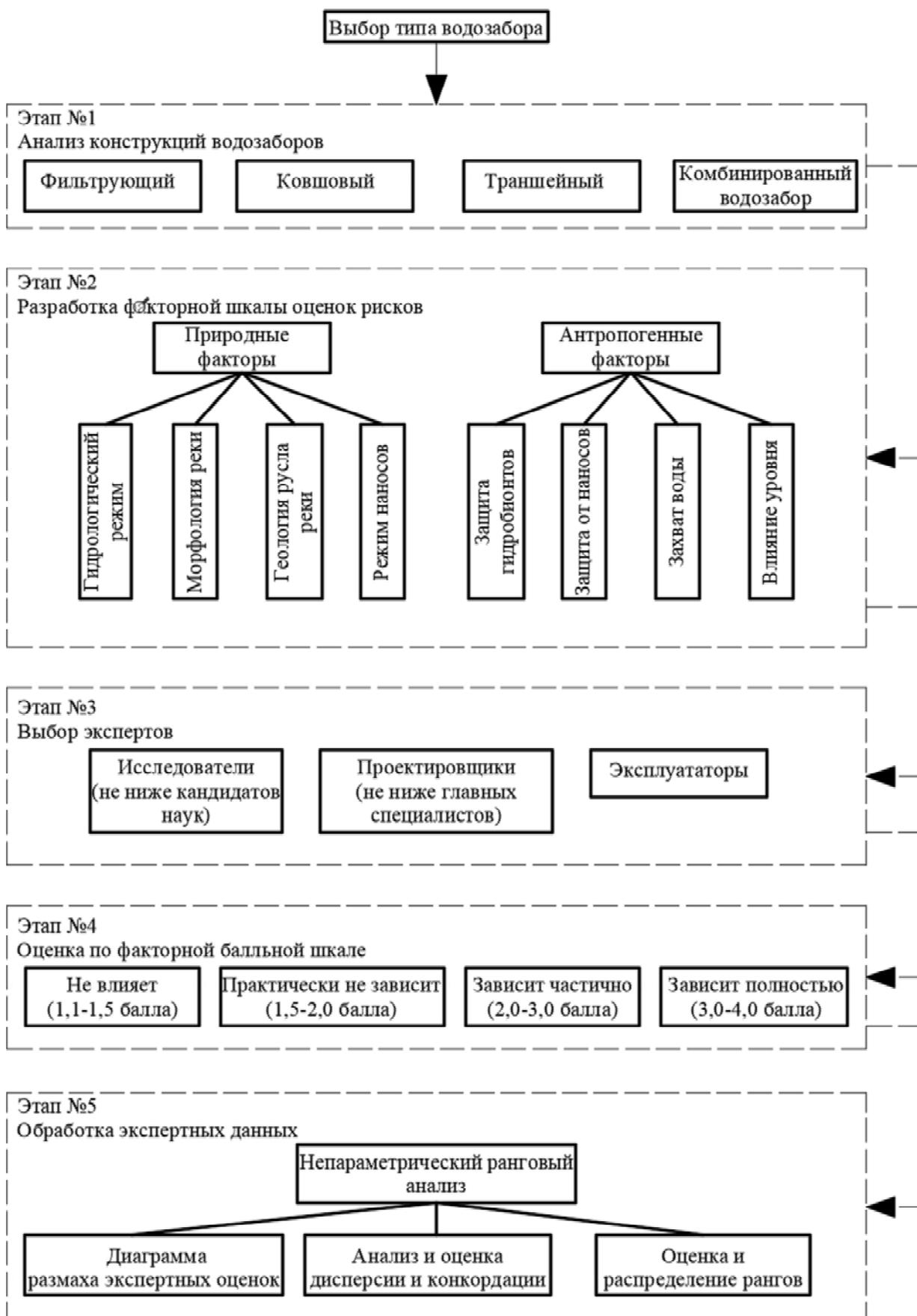


Рисунок 3.5 – Методика выбора мелиоративного водозаборного сооружения

При эксплуатации МВ учитываются природные и антропогенные факторы, которые оказывают влияние на захват воды из источника, прочность конструкции МВ, удобство эксплуатации сооружений. Частные оценки экспертов носят субъективный характер, но при обработке отдельных рисков по интегральному показателю риска мелиоративного водозабора получается обобщенная количественная интегральная оценка. Специалисты и ученые проводят экспертизу и дают оценку эксплуатации МВ с учетом природных и антропогенных факторов.

Выбор типа водозаборного сооружения выполнен согласно методики, представленной на рисунке 3.5, на основании разработанной факторной балльной шкалы оценивания (таблица 3.5).

Таблица 3.5 –Факторная шкала оценок риска МВ эксперта р. Белой

Экспертная оценка по индикаторам риска	Диапазон индикатора	Мелиоративные водозаборы			
		Фильтрующий МВ1	Ковшовый, МВ2	Траншейный МВ3	ФМВ4
1	2	3	4	5	6
<b>Природные факторы</b>					
<i>Гидрологический режим водного источника. Межень и паводок</i>					
Не зависит	1,0-1,5	-	-	-	1,2
Практически не зависит	1,5-2,0	1,6	-	-	-
Зависит частично	2,0-3,0	-	3,0	2,4	-
Зависит полностью	3,0-4,0	-	-	-	-
<i>Морфология реки</i>					
Не зависит	1,0-1,5	-	-	-	1,2
Практически не зависит	1,5-2,0	1,8	-	-	-
Зависит частично	2,0-3,0	-	2,2	2,2	-
Зависит полностью	3,0-4,0	-	-	-	-
<i>Геология русла реки</i>					
Не зависит	1,0-1,5	-	-	-	-
Практически не зависит	1,5-2,0	-	-	-	2,2
Зависит частично	2,0-3,0	-	-	-	-
Зависит полностью	3,0-4,0	3,2	3,2	3,0	-
<i>Режим наносов</i>					
Не зависит	1,0-1,5	1,6	-	-	1,2
Практически не зависит	1,5-2,0	-	-	-	-
Зависит частично	2,0-3,0	-	3,2	3,0	-
Зависит полностью	3,0-4,0	-	-	-	-
Итоговая оценка (2.10)	-	2,05	2,40	2.65	1,45

продолжение таблицы 3.5

<b>Антропогенные факторы</b>					
<i>Защита гидробионтов</i>					
Полная защита	1,0-1,5	1,2	-	-	1,2
Нормативная защита	1,5-2,0	-	-	-	-
Защита ниже нормы	2,0-3,0	-	3,2	3,0	-
Нет защиты	3,0-4,0	-	-	-	-
<i>Защита от наносов</i>					
Полная защита	1,0-1,5	-	-	-	1,4
Нормативная защита	1,5-2,0	2,0	-	-	-
Частичная защита	2,0-3,0	-	2,6	3,0	-
Нет защиты	3,0-4,0	-	-	-	-
<i>Захват воды</i>					
Устойчивый	1,0-1,5	-	1,2	1,6	-
Расчетный	1,5-2,0	2,2	-	-	2,2
Требуется промывка	2,0-3,0	-	-	-	-
Зависит от уровня	3,0-4,0	-	-	-	-
<i>Влияние уровня</i>					
Не влияет	1,0-1,5	1,2	-	-	1,2
Частично влияет	1,5-2,0	-	-	-	-
Периодически влияет	2,0-3,0	-	3,2	2,6	-
Влияет	3,0-4,0	-	-	-	-
Итоговая оценка (2.10)	-	1,65	2,55	2,55	1,45
Интегральная оценка	-	1,85	2,47	2,60	1,45

Примечание. В работе приняло участие 25 специалистов: 8 научных работника, 17 практиков

Результаты экспертизы обрабатываются по формуле и заносятся в таблицу 3.5:

$$R_i = (\sum n_i) / N , \quad (3.16)$$

где  $N$  – количество участвующих в оценке экспертизы по рискам эксплуатации МВ.

Используя непараметрический ранговый анализ дисперсии оценок рисков и конкордации мнений экспертов, по каждому фактору поочередно, в программном комплексе Statistica получили, что оценка экспертов согласованна и сформированы ящичные диаграммы размаха. Экспертные данные для изучаемых водозаборных сооружений рассматривались поочередно, пример диаграммы по фактору - Гидрологический режим водного источника, изображенная на рисунке 3.6

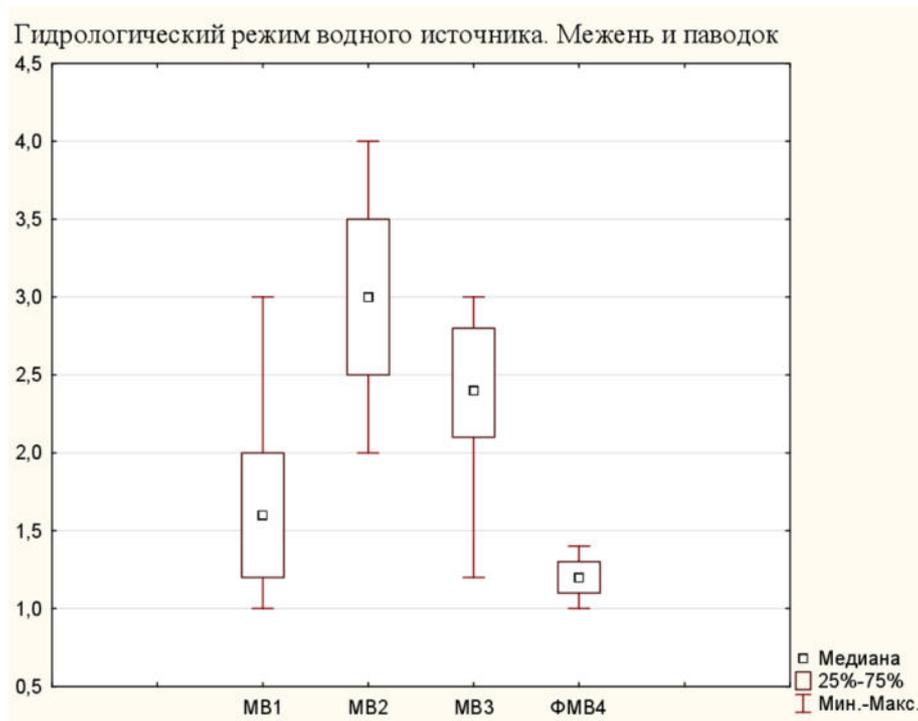


Рисунок 3.6 – Диаграмма размаха фактора

Встроенный графический модуль в программу Statistica позволяет строить диаграммы размаха с максимальной точностью, а также наглядно представлены средние значения(медианы), нормальность распределения мнений и статически важные выборки.

Ранговый анализ и результаты оценки конкордации, с учетом распределения рангов по фактору – Гидрологический режим водного источника. Межень и паводок; приведены в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Результаты рангового анализа и конкордации Кенделла

Переменная	Ранговый критерий Фридмана и конкордация Кенделла (N = 25, cc = 3) = 54,08607 P <0 ,00000 Коэффициент конкордации = 0,72115. Средний ранг r = 0,70953			
	Средний ранг	Сумма рангов	Среднее	Стандартное отклонение
ФМВ4	1,260000	31,50000	1,200000	0,147196
МВ1	2,000000	50,00000	1,600000	0,528362
МВ3	3,040000	76,00000	2,400000	0,498331
МВ2	3,700000	92,50000	3,000000	0,577350

Коэффициент конкордации Кенделла составляет 0,721, что говорит о согласованности данных, а уровень значимости  $P$  менее 0,05 – соответственно различия между факторами существенны. Максимальная эффективность водозаборного сооружения при воздействии фактора достигается для ФМВ4 – комбинированный, включающий элементы ковша и фильтра.

Критическим интегральным показателем риска принимается балл – 2, которому соответствует удовлетворительная эксплуатация МВ по природным и антропогенным факторам. Это крайний балл, выше которого конструкция МВ не рассматривается для СКО.

По данным таблицы 3.1 получены графики влияния факторов на риски эксплуатации различных типов МВ, которые наиболее адаптированы к горным условиям СКО. На рисунке 3.1 представлен графики интегральных рисков  $R_{МВi}$  для 4-х типов МВ в зависимости от основных природных и антропогенных факторов.

Результаты исследования показывают, что наиболее адаптированным по интегральному показателю рисков  $R_{МВ}$  является комбинированный ФМВ4 для горной части р. Белой. Данная конструкции водозабора адаптирована к условиям р. Белой, которая учитывает геологическое строение русла и гидрологический режим. ФМВ4 защищает от наносов, фильтрация – предотвращает гибель гидробионтов, при этом получено -  $R_{МВ} = 1,25$ . Ковшовый водозабор МВ2 применить сложно на данном участке, но другом геологическом строении русла реки его использование возможно. Водозаборы МВ2 и МВ3 применять не рекомендуется, т.к.  $R_{МВ} > 2,0$ .

Проведена интегральная оценка рисков МВ отдельно по факторам. Установлено влияние антропогенных и природных факторов на условия эксплуатации МВ на горном участке р. Белой. На рисунке 3.7 представлен график, построенный по данным таблицы 3.5 для МВ1 - ФМВ4.

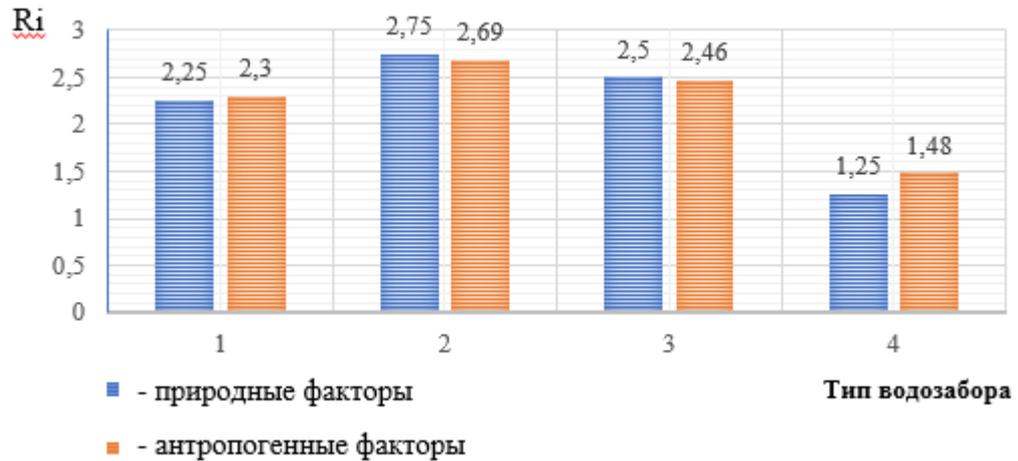


Рисунок 3.7 – Интегральные риски эксплуатации МВ отдельно от природных и антропогенных факторов

Графики показывают, что природные и антропогенные факторы не равнозначны. Это показывают риски МВ1, где природные факторы имеют  $R_{\text{МВ}} = 2,25 > 2,0$ . Поэтому, хотя общий  $R_{\text{МВ}} < 2,0$  (рисунок 3.1), МВ1 для эксплуатации в горной части реки Белой не пригоден. Следовательно, интегральные отдельные риски МВ служат дополнительной информацией для выбора типа водозабора в сложных природных условиях.

Методика интегрального показателя риска позволяет с помощью экспертных оценок решать сложную задачу по выбору обоснованной конструкции МВ, которая будет удовлетворять устойчивую эксплуатацию СКО, обеспечивая требуемое качество и количество воды из источника водоснабжения.

### **ВЫВОДЫ по разделу 3.**

1. Модернизирована модель интегрального показателя риска (ИПР), которая имитирует зависимость состояния ресурса от природных и антропогенных факторов, выраженных безразмерными индикаторами в количественных и качественных показателях частных рисков на мелиоративном водозаборе математической моделью (3.15).

2. Математическая модель (3.15) применяется для определения устойчивой эксплуатации системы: источник, мелиоративный водозабор, трубопроводная сеть,

растение и обоснованного выбора адаптированного мелиоративного водозабора по  $R_{\text{МВ}} < 2,0$ , что позволяет модель (3.15) считать ресурсной, т.к. описывается непрерывным векторным полем скоростей потока: источник, фильтрация, динамика и истечение жидкости.

3. Разработана факторная шкала риска (таблица 3.1), с помощью которой экспертными оценками определяется устойчивость эксплуатации мелиоративного водозабора по  $R_{\text{МВ}}$ .

4. Доказано что комбинированный мелиоративный водозабор, где применяется ковш и подрусовая фильтрация для захвата воды на р. Белой имеет наименьшие риски эксплуатации, которые не превышают критическую величину  $R_{\text{КР}}$ , т.е. обеспечивается устойчивость эксплуатации системы по рискам, т.к.  $R_{\text{МВ}} = 1,375 < 2,0$ .



участка русла реки 2 и фильтрующего водоприемника, выполненного из перфорированной трубы 3, вокруг которой уложен гравийный фильтр 4. Внутри перфорированных труб 3 устроены промывные трубы меньшего диаметра 5 с цилиндрическими насадками 6, проложенные по центру перфорированных труб равной длины. В приемном ковше 1 начальный участок перфорированных труб 3 закреплен железобетонным пригрузом 7, фиксируя их проектное положение от смещения. Объем приемного ковша вокруг перфорированных труб заполнен гравийным фильтром 4, при этом от верха гравийного фильтра в приемном ковше 1 уложена каменная наброска 8 до уровня дна русла 2, которая обеспечивает дополнительную защиту от размыва, при этом устьевая часть 9 трубчатого водоприемника входит в камеру водосборного колодца 10. Промывные трубы 5 через подающие трубы 11 в водосборном колодце 10 подключены к напорной линии насосов 12.

#### **4.2 Методика расчета ковшового мелиоративного фильтрационного водозабора**

При выборе КФМВ для СКО использована методика, разработанная для выбора конструкций мелиоративных водозаборов для горных условий рек (глава 3). Водозабор устраивается подрусловым с заглублением фильтрационных перфорированных труб под уровень в ковше русла реки Белой. На рисунке 4.2 представлен подрусловый КФМВ с насосной станцией 1-го подъема (НС1). Насосная станция колодезного типа, состоящая из одной приемной камеры. Водозабор включает фильтрационные перфорированные трубы (ФПТ) длиной 9,0 м, которые уложены в траншею на глубину 1,80 м. Перфорированная часть трубы имеет длину 5,0 м. Ширина траншеи принимается 2,65 м. Геологическое строение дна русла р. Белая (отчет по геологии) позволяет проектировать стенки ковша с углом  $90^{\circ}$ . ФПТ обеспечивают забор воды из реки суммарным расходом  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Принимается 2 водозаборные перфорированные трубы длиной перфорации 5м. Расчет каждой ФПТ производится на расход  $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Диаметр перфорированной трубы находится по формуле расхода и равен 500 мм. Водозабор имеет 2 ФПТ диаметром 500 мм каждая из полиэтилена труба и рассчитана на давление 0,1 Мпа.

Вокруг труб устраивается обратный фильтр (рисунок 4.2): рваный камень 300-600 мм; гравий 100-150 мм; 50-100 мм; труба 500 мм; гравий 50-100 мм.

Скорость на выходе ФПТ при расходе  $162,28 \text{ м}^3/\text{ч}$  в камеру колодца составляет  $0,23 \text{ м/с}$ . Площадь живого сечения трубы –  $\omega_{\text{тр.}} = 0,196 \text{ м}^2$ . Диаметр отверстий перфорации – 5 мм. Расход через перфорацию определяться по формуле (4.1). Коэффициент расхода отверстий перфорации принимается 0,6. С учетом сопротивления фильтра коэффициент расхода уменьшается до 0,4-0,3. Площадь отверстия перфорации диаметром 5 мм составляет  $0,0000196 \text{ м}^2$ .

Минимальный перепад уровней будет при глубине воды в реке над ФПТ:  $z = 0,1\text{м} + 334,95 - 333,55 = 1,40 \text{ м}$ . Количество отверстий из формулы (12) для одной трубы – 1500 шт. Для 2-х труб – 3000 шт.

Проверяется скорость воды при входе в траншею:

$$Q = 2 \cdot 0,046 / 2,65 \cdot 5,0 = 0,007 \text{ м/с.}$$

Скорость воды над ковшем не превышает критическую скорость для молоди рыб (СП 31.13330.2021), равную  $0,2 \text{ м/с.}$ , следовательно, молодь рыб будет защищена от травм.

Скорость воды при входе потока в камеру колодца будет:  $0,23 \text{ м/с}$ , которая находится в диапазоне незаиляющих скоростей [12].

При эксплуатации водозабора во время паводков необходимо учитывать мутность потока в реке, которая достигает  $650 \text{ г/м}^3$  [13]. После паводка необходима промывка фильтра и ФПТ.

При снижении забора воды из реки выполняется промывка фильтра обратным током воды с помощью НС1. Для этого предусматривается полиэтиленовый трубопровод диаметром 100 мм, который устраивается внутри каждого ФПТ с внешними цилиндрическими насадками с  $L/d = 3$  и

коэффициентом расхода 0,82. Диаметр насадка 10 мм. Количество насадков 40 шт. (рисунок 4.2).

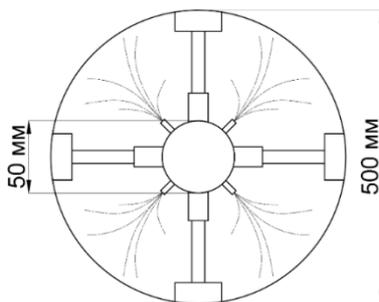


Рисунок 4.2 – Схема расположения насадков по трубе 100 мм

Насадки располагаются на одинаковом расстоянии 1,0 м друг от друга 1, что позволяет равномерно проводить промывку ФПТ. Давление для промывки ФПТ – 40 м. Расход для промывки ВПТ определяется по формуле (12), где принимается напор 40 м и коэффициент расхода 0,82.

Расход 1 насадка равен –  $0,0018 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для всех насадков (40шт.) на одной трубе –  $0,072 \text{ м}^3/\text{с}$ . Промывной расход больше чем расход через все отверстия.

Следовательно, в ФПТ будет создаваться избыточное давление, которое обеспечит промывку фильтра. Регулировка промывки осуществляется через задвижку на напорном трубопроводе 100 мм.

#### *Разработка конструкции водозаборного сооружения.*

Водозаборное сооружение размером в плане 260х290 см и глубиной подземной части 4,9 м запроектировано из гидротехнического ж/б марки В35. Всасывающие перфорированные трубы укладываются автокраном в траншею, устроенную на дне реки размером 2,65х9,0 м на глубину 1,8м. Вокруг трубы устраивается обратный фильтр (рисунок 3). Вначале трубы имеются 2 упора из железобетона, разделенных деформационным швом размером 1,0х1,325х1,0 м. Перфорированная часть трубы длиной 5 м с упором располагается в русле реки, оставшаяся часть трубы находится в береговой части.

ФПТ диаметром 500 мм с шагом отверстий 3x8 см другим концом входит в приемную камеру колодца внутренним размером 200x230 см, где на входе имеются плоские затворы, обеспечивающие подачу воды в камеру во время поливного сезона. Дно камеры имеет уклон к центру, где собираются наносы и выполняется очистка камеры от них.

В колодце монтируются погружные насосы для забора воды из реки и подачи в пруд-накопитель и орошения садов. В камере монтируется 2 насоса. Каждый насос обеспечивает подачу 150 м<sup>3</sup>/ч и напор 40 м. Дно камеры находится на отметке 332,50м. Данная конструкция камеры обеспечивает непрерывный забор воды в оросительную систему.

*Разработана технология строительства ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора.*

В процессе изысканий устанавливается створ для строительства на реке ковшового подруслового фильтрующего водозабора. Обустраивается строительная площадка, устраивается дренажная система для откачки воды из котлована ковша 1. На строительной площадке участка реки перед котлованом устраивается перемычка для его защиты от потока реки (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Внешний вид котлована под водозаборное сооружение

Разрабатывается котлован под ковшовый фильтрующий водозабор. Устраивается гравийный фильтр 4 на дне котлована, где производится монтаж перфорированных труб 3 с промывными трубами 5 (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Часть гравийного фильтра

Промывные трубы 5 с насадками 6 вставляются и закрепляются в перфорированных трубах до их монтажа на строительной площадке. С помощью железобетонного пригруза 7 входная часть перфорированных труб 3 закрепляется в приемном ковше 1. Пригруз из железобетона 7 обеспечивает надежность работы сооружения от размыва дна 2 русла реки. Перфорированный трубопровод 3 соединяет  $\sum \omega_{от}$  ся с устьевой частью водосборного колодца 10. Промывные трубы подключаются к напорной линии 11 насосов 12. После данных операций и строительства водосборного колодца приемный ковш 1 подруслового фильтрующего сооружения заполняется гравийным фильтром 4 до определенного уровня, который обеспечивает необходимый захват воды из источника. От верха гравийного фильтра 4 в приемном ковше 1 укладывается каменная наброска 8 до уровня дна 2 русла, которая создает дополнительную защиту сооружения от размыва

*Разработан способ захвата воды из р. Белая ковшового подруслового фильтрующего водозабора, который состоит в следующем.*

Водозабор предназначен обеспечить требуемые расходы в системах водоснабжения в меженьный период реки. Приемный ковш 1 для захвата воды работает при минимальных уровнях реки в диапазоне 0,1-0,3 м. При минимальных уровнях в приемном ковше 1 создаются необходимые напоры

за счет положения оси перфорированной трубы 3 относительно дна реки, обеспечивая направленную фильтрацию воды из реки через гравийный фильтр 4 в перфорированную трубу 3, откуда вода попадает в устьевую часть водосборного колодца 10. Минимальные напоры на сооружении в диапазоне 1,0-1,2 м создаются перепадом уровней между рекой и глубиной воды в водосборном колодце 10. Расходы фильтрационного потока определяются диаметром и количеством отверстий на перфорированной трубе 3, а также размером фракционного состава гравийного фильтра 4. При снижении напоров в сооружении за счет засорения гравийного фильтра 4 и отверстий перфорированной трубы 3 включается промывное устройство, состоящее из промывной трубы 5, на которой имеются цилиндрические насадки 6. Обратным током воды от насоса 12, через напорную трубу 11 вода под давлением направляется в промывное устройство, которое за счет избыточного давления промывает отверстия перфорированной трубы 3 и гравийный фильтр 4. Частота промывок приемного ковша 1 зависит от мутности потока в реке. При паводках ковшовой подрусловой фильтрующий водозабор гарантированно обеспечивает требуемые расходы.

Для условий эксплуатации разработана конструкция фильтра приемной перфорированной трубы водозабора, который находится в ковше ниже отметки дна реки в расчетном створе на р. Белой (рисунок 4.5).

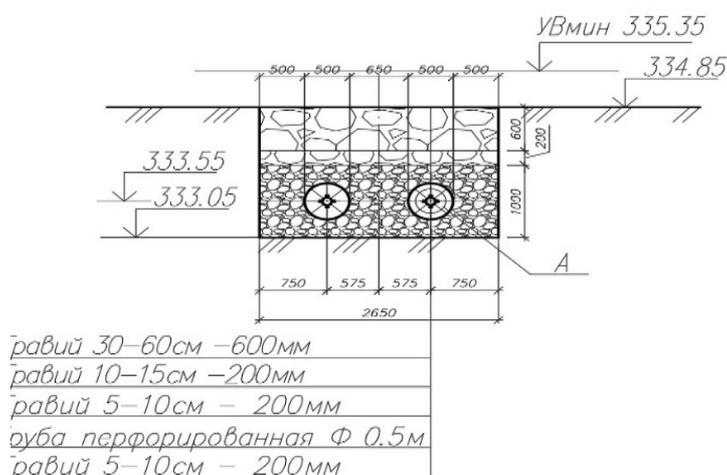


Рисунок 4.5 – Конструкция фильтра в ковше КФМФ

Обсыпка из гравия перфорированных водозаборных труб представляет собой 3-х слой фильтр толщиной 1,0 м (рисунок 4.5). Слои имеют различную толщину, которые обеспечивают предварительную очистку воды реки при фильтрации через фильтр. Для вычисления расхода притока воды в камеру колодца определяется скорость фильтрации из формулы Дарси:

$$u_{\phi} = k i , \quad (4.1)$$

где  $u_{\phi}$  – скорость фильтрации, м/с;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $i$  – гидравлический клон.

Гидравлический уклон определяется по зависимости:

$$i = \frac{\partial h}{\partial l}, \quad (4.2)$$

где  $\partial h$  - изменение глубины воды над осью фильтра, м;  $\partial l$  – приращение длины, где изменяется глубина над ось фильтра, м. ( $i = 0,37 = 1,85:5,0$ ).

Основным параметром, который определяет работоспособность фильтра во время эксплуатации является скорость фильтрации в 3-х слойном фильтре. Скорость фильтрации на выходе из фильтрующей перфорированной трубы (ФПТ) находится объемным способом и служит для оценки состояния фильтра в процессе захвата воды ковшом водозабора.

### **4.3 Методика расчета длины фильтрующих трубопроводов мелиоративного водозабора системы капельного орошения**

Основными элементами эксплуатации МВ служат: водоприемный ковш, фильтр, перфорированный трубопровод и промывное устройство.

*Водоприемный ковш.* Ковш предназначается для захвата воды в нужном количестве и необходимом качестве. Ковш выполняется в виде прямоугольной траншеи с необходимыми геометрическими параметрами для размещения ФПТ и железобетонного упора для устойчивости конструкции. Расход притока в траншею ковша определяется из формулы Дюпюи:

$$q = \Omega \cdot u_{\phi} = \Omega \cdot k \cdot i, \quad (4.3)$$

где  $q$  – фильтрационный расход ковша, м<sup>3</sup>/с;  $\Omega$  – площадь приемной камеры ковша, м<sup>2</sup>.

Площадь приемной камеры ковша находится из формулы:

$$\Omega = b \cdot l, \quad (4.4)$$

где  $b$  – ширина ковша, м;  $l$  – его длина, м.

Геометрические параметры  $b$  и  $l$  находятся из расчета устройства 2-х и более ФПТ в зависимости от требуемого  $q$  для СКО, которые обеспечивают захват расхода с двух кратным запасом. Данный запас  $q$  принимается из условия засорения фильтра взвешенными наносами при заборе воды из реки при эксплуатации МВ. Глубина ковша назначается из условия размещения фильтра по высоте, а также зависит от диаметра ФПТ. В траншею ковша укладываются железобетонные упоры, в которых закрепляются ФПТ.

Расход потока от входа в ковш до выхода из него в приемный колодец величина постоянная, т.е.  $Q = q = const$ , где  $Q$  – приток воды к ФПТ через фильтр, м<sup>3</sup>/с и  $q$  – расход воды, который захватывается ковшем из реки, м<sup>3</sup>/с., следовательно, длина ковша находится из уравнения неразрывности [35]:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \quad (4.5)$$

где  $u_x, u_y$  – компоненты векторов скоростей фильтрации, м/с.

Для расхода  $q$  используется формула захвата воды из реки ковшем (3) и формула расхода жидкости при истечении из отверстий перфорации ФПТ, которая для данного случая имеет вид:

$$Q = \mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z}, \quad (4.6)$$

где  $Q$  – расход воды через фильтр, м<sup>3</sup>/с;  $\mu$  – коэффициент расхода песчано-гравийного фильтра;  $n$  – отверстий на ФПТ;  $\omega_{\text{пер.}}$  – площадь перфорации, м<sup>2</sup>;  $Z$  – гидравлический перепад уровней в реке и приемной камере, м.

С учетом зависимости (4.5) и формулы (4.6), получим:

$$\Omega \cdot u_{\phi} = \mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z}. \quad (4.7)$$

где  $\Omega = b \cdot l$ .

Откуда следует:

$$l = \frac{\mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z}}{b \cdot u_{\phi}}. \quad (4.8)$$

Длина ковша зависит от гидравлического перепада уровней, скорости фильтрации и сопротивления на фильтре. Из формулы (4.8), следует:

$$l = A (\mu \cdot \sqrt{Z} / u_{\phi}) \quad (4.9)$$

где  $A = \frac{n \cdot \omega_{\text{пер}} \cdot \sqrt{2g}}{b}$  - постоянный параметр для данной конструкции

ковша МВ, где  $b$  зависит от диаметра, и согласно СНиП расстояние между ФПТ принимается равным  $3D$ , где  $D$  диаметр ФПТ.

Из выражения (4.9) следует графические решения о размерах длины ковша в зависимости от снижения сопротивления фильтра за счет его засорения взвешенными наносами. При  $n=3000$  шт.,  $\omega_{\text{отс}} = 0,0000165 \text{ м}^2$ ,  $Z = 1,0 \text{ м}$ ,  $b = 2,65 \text{ м}$ ,  $A = 0,10$  (рисунок 4.6).

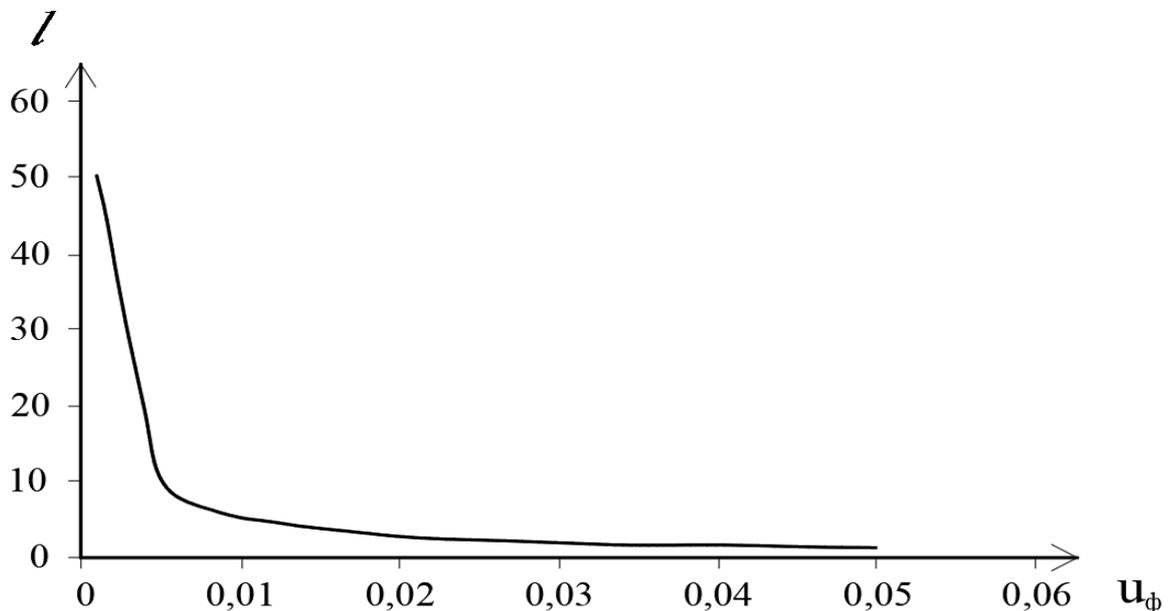


Рисунок 4.6 – Длина ковша в зависимости от скорости  $u_{\phi}$  при  $\mu = 0,5$

Результаты расчета фильтра по формуле (4.9) показаны на графике (рисунок 4.7), из которого видно, что с увеличением сопротивления фильтра, которое отражается уменьшением скоростей фильтрации, длина его возрастает от 1,65 м до 50 м. Из этого следует, что для снижения размеров ковша по дине необходимо предусматривать регулярную промывку фильтра. Частота промывки фильтра при расчетной длине ковша определяется временем засорения фильтра и отверстий ФПТ.

#### 4.4 Методика расчета перфорированного трубопровода для промывки фильтра

Количество приемных труб в ковше принимается не менее 2-х. Длина перфорированной части труб (ПТ) назначается равной длине ковша, где происходит захват воды реки и при этом выполняется условие неразрывности потока. Для условий забора воды из р. Белой принимается 3-х слойный обратный фильтр. Конструкция фильтра приводится на рисунке 2. Для обсыпки трубы принимаются слои гравия сверху к дну траншеи: рваный камень 300-600мм; гравий 100-150мм; 50-100мм; труба 500мм; гравий 50-100мм. Верхний слой рассчитывается из условий неразмывающих скоростей [62].

*Диаметр трубы ФПТ находится по формуле:*

$$D = (1,1-1,2) \cdot Q^{0,5}. \quad (4.10)$$

где  $Q$ - расход трубы, который подаётся в систему КО, м<sup>3</sup>/с.

Диаметр принимается из условия незаиляющих скоростей потока в ПТ.

Незаиляющая скорость зависит от диаметра перфорации приемной трубы, диаметр наносов для расчета незаиляющих скоростей принимается равным диаметру перфорации ФПТ. Для защиты рабочего колеса насосов от истирания принимается обратный фильтр и диаметры отверстий перфорации не более 5мм. Для продолжительной службы МВ принимается полиэтиленовая труба с перфорацией. Площадь живого сечения трубы –  $\omega_{тр}$ .

Расход воды из реки через перфорацию будет определяться по формуле:

$$Q = \mu n \omega_{пер} \sqrt{2gZ}, \quad (4.11)$$

где  $Q$  – расход воды через фильтр,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\mu$  – коэффициент расхода песчано-гравийного фильтра;  $n$  – отверстий на ВПТ;  $\omega_{\text{пер.}}$  – площадь перфорации,  $\text{м}^2$ ;  $Z$  – гидравлический перепад уровней в реке и приемной камере, м.

Коэффициент расхода отверстий перфорации определяется с учетом сопротивления фильтра. Перепад уровней  $Z$  определяется при минимальном уровне:

$$Z = h_{\text{min}} + h, \quad (4.12)$$

где  $h_{\text{min}}$  – минимальный уровень воды в источнике, м  $h$  – расстояние от оси ПТ до дна реки, м.

Определяется входная скорость в ковше, которая не должна оказывать негативное влияния на молодь рыб. Скорость на входе в ковш  $V_{\text{вх}}$  должна быть меньше критической  $V_{\text{кр}}$  для молоди рыб:  $V_{\text{вх}} < V_{\text{кр}}$ , где  $V_{\text{кр}} = 0,2$  м/с.

#### *Количество отверстий на ПТ.*

Отверстия принимаются круглого сечения или в виде щелей. Захват фильтрационного потока осуществляется суммарной перфорацией на ФПТ и оценивается площадью перфорации  $\omega_{\text{пер.}}$ .

Площадь перфорации определяется по формуле:

$$\omega_{\text{пер.}} = \sum \omega_{\text{от}} \text{ или коэффициентом перфорации } K_{\omega} = \sum \omega_{\text{от}} / \omega_{\text{фнт.}}$$

Коэффициент перфорации определяется шагом расположения отверстий на развертки трубы ФПТ длиной  $l$  и шириной  $D$ .

#### *Промывка ВПТ.*

При засорении фильтра наносами выполняется его промывка обратным током воды с помощью насосной станции 1-го подъема. Для этого

предусматривается полиэтиленовый трубопровод диаметром 100 мм, который устраивается внутри каждого ВПТ с внешними цилиндрическими насадками с  $L/d = 3$  и коэффициентом расхода 0,82. Диаметр насадка 10 мм. Количество насадков рассчитывается из формулы истечения жидкости под уровень [83].

#### 4.5. Разработка модели для лабораторного исследования ФМВ

При разработке водозаборного сооружения применялось гидравлическое подобие явлений в натуре и на физической модели, выполненной в лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения КубГАУ. Исследование опиралось на то, что две гидравлические системы водозабора геометрически подобны, если сходственные размеры натуре и модели имеют постоянные соотношения.

Принимаем  $a_i$  – масштаб длин, тогда соответствующие масштабы площадей  $a_i^2$  и объемов, будут  $a_i^3$ :

$$\frac{l_M}{l_H} = a_i = const; \quad (4.13)$$

$$\frac{\omega_M}{\omega_H} = a_i^2; \quad (4.14)$$

$$\frac{W_M}{W_H} = a_i^3, \quad (4.15)$$

где  $\omega_M$  и  $W_M$  - некоторая площадь и некоторый объем, относящиеся к действительному сооружению;

$\omega_H$  и  $W_H$  - сходственные площадь и объем модели.

Находим масштабные коэффициенты:

$$a_i = \frac{8000}{800} = 10 = \frac{5000}{500} = 10 = \frac{500}{50} = 10;$$

$$a_i^2 = \frac{8000 \cdot 2650}{800 \cdot 2650} = 100; 10^2 = 100$$

$$a_i^3 = \frac{8000 \cdot 2650 \cdot 1300}{800 \cdot 265 \cdot 130} = 1000; 10^3 = 1000$$

На рисунке 4.7 даны основные геометрические размеры характеристик природы и модели фильтрующего водозабора.

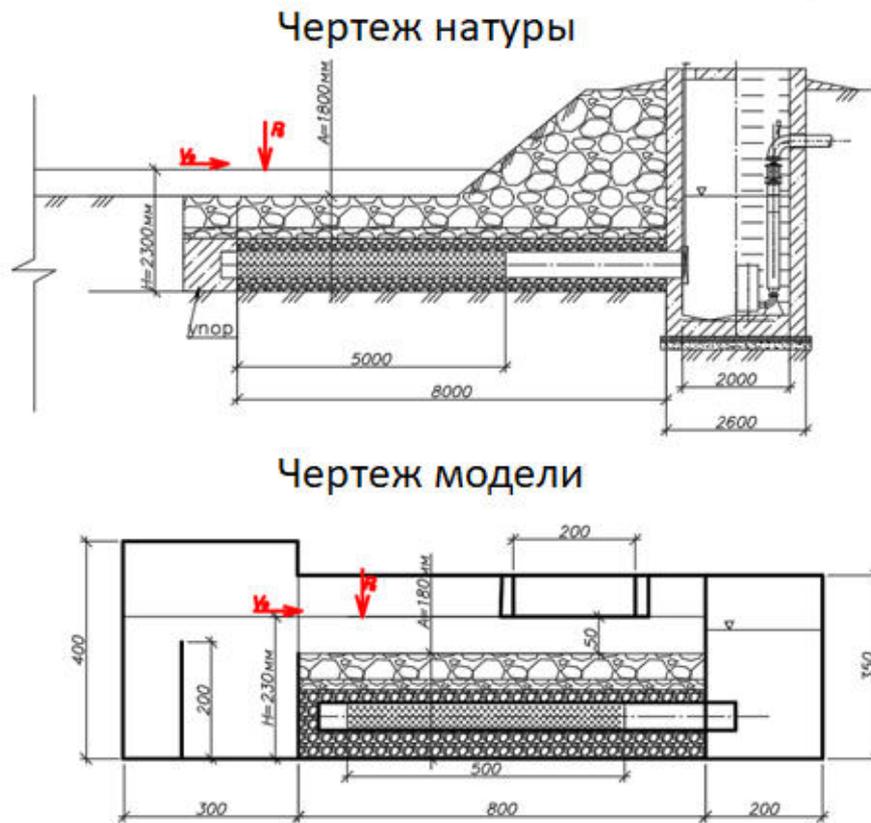


Рисунок 4.7 – Основные геометрические размеры фильтрующего водозабора природы и модели

Кинематическое подобие конструкции водозабора достигается сходственными траекториями движениями частиц и скоростями в

сходственных точках связаны постоянными гидравлическими соотношениями (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Данные кинематического подобия

Параметр	Натура	Модель
Соченный периметр $\chi$	3,01	0,301
Живое сечение $\omega$	4,770	0,0477
Средняя скорость $v$	0,0087	0,087
Гидравлический радиус $R$	1,585	0,158
Число Рейнольдса $Re$	55371	55371
Коэффициент сопротивления $\lambda$	0,02063	0,02063
Коэффициент Шези $C$	62	62

Стоит отметить, что для полученной системы параметров водозабора имеем равенство коэффициентов гидравлического трения, коэффициента Шези и гидравлического радиуса.

Динамическое подобие подтверждается соотношением величин любых соответствующих сил, действующих на жидкость, в работе использовано соотношение сил атмосферного давления.

$$\frac{F_M Re_M}{F_H Re_H} = \frac{\lambda_M}{\lambda_H} = \frac{C_M}{C_H} = 1 = const \quad (4.16)$$

$$a_F = \frac{98100}{98100} = 1$$

#### 4.6 Лабораторные исследования конструкции ФМВ

Исследование проводилось на экспериментальной установке в лаборатории кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского ГАУ на спроектированной модели масштабом 1:10 (рисунок 4.8).

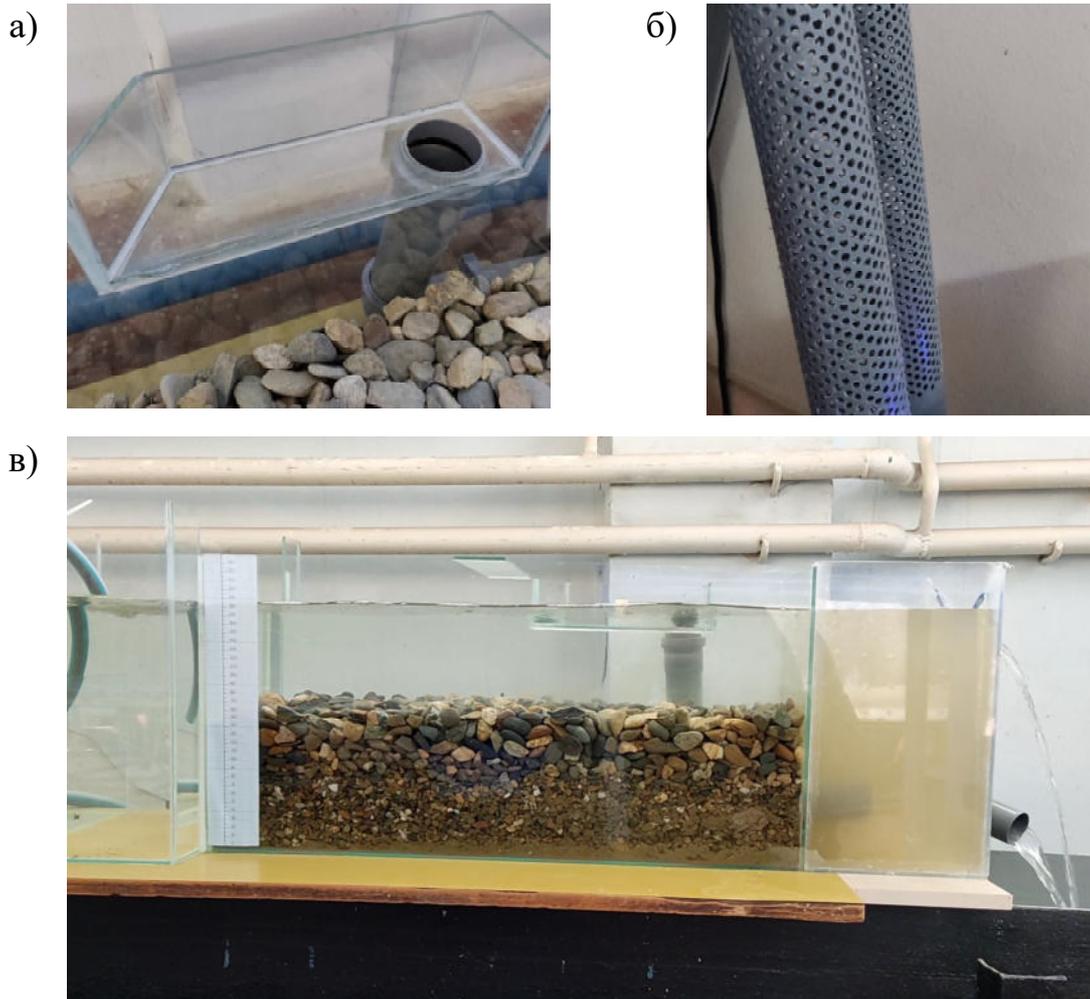


Рисунок 4.8 – Экспериментальная установка

Целью лабораторных исследований являлось изучение возможности обеспечить требуемым расчетным расходом СКО.

Исследование на модели проводилось при расходах  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{час}$ , что соответствует скорректированному расходу насосной станции для модели. При этом глубина контролировалась при помощи сливного трубопровода (рисунок 4.9 а).

В исследовании на модели укладывались трубы с расчетной площадью перфорации, на рисунке 4.9 б изображена перфорация рабочей части.



а – переливной трубопровод; б – перфорированные трубопроводы;  
в – пропуск расчетного расхода на модели

Рисунок 4.9 – Выполнение опыта и отдельные части установки

В приемный резервуар подавалась вода с помощью насоса, после чего поток протекал над траншеей с постоянным уровнем, что иммитирует створ в реке рисунок 4.10, выбранный для строительства.

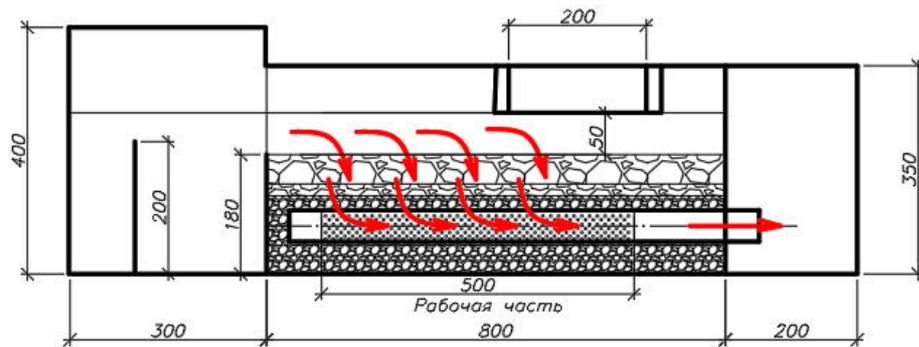


Рисунок 4.10 – Динамическая схема движения воды в модели

Вода проходя через обратный фильтр гравийной засыпки приобретает направленную фильтрацию в перфорированную трубу, откуда попадает в устьевую часть модели водозаборного сооружения в виде водосборного колодца, из которого через треугольный водослив измеряется расход объемновесовым способом.

Опыты выполнялись в 30 кратной повторяемости, для определения расхода использовалась мерная емкость в виде минзурки выполненной по ГОСТ, время засекалось эталонным секундамером. Определена погрешность при измерениях, которая составила 1,23%, что допустимо при измерениях согласно ГОСТ 15528-86.

#### **ВЫВОДЫ по разделу 4.**

1. С учетом особенностей гидрологического режима, морфологии и геологии русла р. Белой разработана адаптированная конструкция ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора, которая обеспечивает устойчивую эксплуатацию системы капельного орошения по рискам  $R_{МВ} = 1,375 < 2,0$ .

2. Исследованиями доказано, что на устойчивую эксплуатацию оказывают влияние геометрические параметры и скорость фильтрации КФМВ. Основными геометрическими параметрами КФМВ являются длина и ширина ковша.

3. Получена теоретическая формула (4.14), которая показывает, что с увеличением сопротивления фильтра длина ковша при постоянной ширине возрастает от 1,65 м до 50 м при уменьшении скорости фильтрации. Из этого следует, что для снижения геометрических параметров ковша необходимо предусматривать регулярную промывку КФМВ.

4. Разработана методика расчета ковшового фильтрационного мелиоративного водозабора, которая позволяет адаптировать параметры конструкции к условиям эксплуатации системы капельного орошения в сложных природных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях горной зоны Северного Кавказа при капельном орошении на физической модели почвогрунта на фильтрующем основании, формируются контуры увлажнения в виде «елки». Для моделирования распространения влажности составлены картограммы, отражающие диапазон влажности с шагом в 5% для расчета объема смоченного грунта. Оцифровка моделей позволяет установить изменение характеристик увлажнения и получить данные по эффективности использования воды в системах капельного орошения.

Обоснован режим капельного орошения яблоневого сада обеспечивающий рациональное использование водных ресурсов из горной реки Белая. Полученные зависимости позволили сделать вывод, что при продолжительном поливе, свыше 8 часов, происходит завышение поливных норм и увеличение мощности систем капельного орошения. Получен коэффициент использования воды (2.4) для почвогрунтов на дренажном слое, который отражает изменение влажности во времени и определяет неоднородность процесса перемещения воды в течении всего срока полива.

Разработана методика выбора конструкции мелиоративного водозабора для сложных условий горных рек. Обоснован выбор адаптированного мелиоративного водозабора по интегральному показателю риска и факторной шкале рисков. Доказано, что комбинированный мелиоративный водозабор, где применяется ковш и подрусовая фильтрация для захвата воды на р. Белой имеет максимальную надежность и не превышает интегральный показатель критической величины  $R_{MB} = 2,0$ .

Разработана новая адаптированная конструкция ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора, обеспечивающая устойчивую эксплуатацию для условий р. Белая. Доказано, что на конструкцию водозабора оказывают влияния геометрические параметры и скорость фильтрации. Получена зависимость (4.14), которая показывает, что с увеличением сопротивления фильтра длина ковша при постоянной ширине возрастает.

Разработана методика расчета конструкции ковшового фильтрационного мелиоративного водозабора, которая включает: определение габаритных размеров водозаборного сооружения в зависимости от расхода; расчет скоростных характеристик движения воды через фильтрующий элемент ковша; определение диаметра и количества перфорированных трубопроводов; расчет количества и диаметра перфорации трубопроводов; расчет промывки фильтра через ВПТ.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При проектировании систем капельного орошения в горных условиях, для почвогрунтов с фильтрующим подстилающим слоем, рекомендуется уменьшать время одного полива при определении расчетного расхода водозаборного сооружения, что позволяет повысить водообеспеченность системы капельного орошения до 10 %.

Разработанная методика с применением показателей риска позволяет оценить мелиоративные водозаборы для сложных горных условий. Фильтрующие ковшовые водозаборы рекомендуется применять на участках горных рек, для устойчивой подачи воды в системы орошения.

При проектировании систем орошения, расположенных на почвогрунтах с фильтрующим основанием, рекомендуется применять математическую зависимость площади контура увлажнения и расхода воды, что позволяет учитывая коэффициент использования воды для экономии водных ресурсов в системе капельного орошения.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Исследования можно использовать в направлении поиска технических решений на основе эффективного водообеспечения, с целью повышения эксплуатационной надежности фильтрующих мелиоративных водозаборных сооружений на горных реках при проектировании и эксплуатации систем орошения.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абдель-азим М. М. Совершенствование методов расчета капельного орошения плодовых культур в условиях Египта: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. - Москва, 2010. - 24 с.
2. Абраменко, Г. В. Практические рекомендации по применению системного анализа к проектированию сложных систем / Г.В. Абраменко, К.В. Власов, М.А. Краснощеков. - М.: Оргсервис-2000, 2015. - 300 с.
3. Аборнев, В. С. Оптимизация параметров расчистки русел малых рек / В. С. Аборнев, Е. Д. Хецуриани, В. Н. Шкура // Чистая вода - 2009: тр. Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 окт. 2009 г. / Кемеровский технол. ин-т пищевой пром-сти. - Кемерово, 2009. - С. 299-304
4. Агроклиматический справочник по Волгоградской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 143 с.
5. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский - Изд-е второе, перераб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
6. Айдаров, И. П. Расчеты контуров увлажнения при капельном и внутрипочвенном орошении. Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования / И.П. Айдаров, А. А. Алексашенко, Л.Ф. Пестов.- М, 1983. - С. 15-22.
7. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений / А.М. Алпатьев. - Л.: Гидрометеиздат, 1954. - 248 с.
8. Афанасик, Г. И. Оптимальная влажность почвы / Г.И. Афанасик, В.Н. Пятницкий // Мелиорация: энциклопедический справочник. - Минск, 1984. - С. 323-324.
9. Ахмедов, А. Д. Капельное орошение овощных культур в условиях волго-донского междуречья / А. Д. Ахмедов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - № 4. - С. 36-42

10. Анахаев, К. Н. О гидрогеофизических "несуразностях" в изучении горных рек Северного Кавказа / К. Н. Анахаев, В. В. Беликов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 5. – С. 19-24. – EDN ВРУАQO.
11. Багров, М. Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур / М.Н. Багров // Обзорная информация. - Москва: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. - 76 с.
12. Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / И.П. Кружилин. - Москва: Агропромиздат, 1980. - С.20-42.
13. Багров, М. Н. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур / М.Н. Багров, И.П. Кружилин. - Москва: Колос, 1980. - 271 с.
14. Багров, М. Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур в условиях Нижнего Поволжья / М.Н. Багров. - Волгоград: ВСХИ, 1991. - 52 с.
15. Багров, М. Н. Сельскохозяйственная мелиорация / М. Н. Багров, И.П. Кружилин. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 271 с.
16. Байбеков, Р. Ф. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии: Учебное пособие. / Р.Ф. Байбеков, Н.С., Матюк, А.Я. Рассадин, В.Д. Полин. - Москва. - 2006. - 168 с.
17. Балакай, Г. Т. Безопасные системы и технологии капельного орошения: научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / Г.Т. Балакай, Л.А. Воеводина, Ю.Ф. Снопич, А.Н. Бабичев, В.А. Кулыгин, Н.И. Балакай, М.А. Евтухов, Д.Б. Латария, Т.А. Погоров, Д.В. Сухарев, Е.А. Бабичева, Н.И. Тупикин, Е.А. Кропина, А.Б. Финошин. - Москва: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. -52 с.
18. Бальбеков, Р. А. Новая система капельного орошения / Р.А. Бальбеков, В.В. Бородычев, А.М. Салдаев, А.В. Дементьев, Ю.В. Кузнецов. // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003. - № 4. - С. 6 - 9.

19. Басниев, К. С. Подземная гидравлика: Учебник для вузов / К.С. Басниев, А.М. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. - Москва: Недра, 1986. - 303 с.
20. Беляков, А. М. Региональная адаптивно-ландшафтная система земледелия Нижнего Поволжья / А.М. Беляков, А.В. Солонкин, Л.А. Бабаян, А.В. Беликина, А.И. Болдырь. - Волгоград: Принт, 2012. - 202 с.
21. Бобченко, В. И. Гидравлика внутрипочвенных увлажнителей при орошении / В.И. Бобченко // Вестник с.-х. науки. - 1961. - №1. - С. 94- 100.
22. Бородычев, В. В. Оценка работы системы капельного орошения / В.В. Бородычев, Р.В. Бальбеков, А.П. Разумов // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: сборник научных докладов международной научно-практической конференции (1-4 декабря 2003 г. - Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. - С.143-146.
23. Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В.В. Бородычев. - Волгоград: ВолГАУ, 2010. - С. 5-12.
24. Бородычев, В. В. Технология возделывания столовой моркови при капельном орошении / В.В. Бородычев, А.А. Мартынова. - Волгоград: ВолГАУ, 2016. - 195 с.
25. Бочарников, В. С. Водосберегающие технологии полива томатов и сладкого перца в условиях Волго-Ахтубинской поймы / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков, О.В. Бочарникова // Материалы Международной научнопрактической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в инновационном развитии АПК», посвященной 150-летию со дня рождения основоположника высшего гидротехнического и мелиоративного образования в России В.В. Подарева. - Москва: ФГОУ ВПО МГУП, 2012. - С 103-108.
26. Бочарников, В. С. Вопросы энерго- и ресурсосбережения при внутрипочвенном орошении / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков // Энергосберегающие технологии: проблемы их эффективного использования: материалы международной научно-практической конференции. - Волгоград, 2007. - С. 63-65.

27. Бочарников, В. С. Исследования капельного орошения в ВолгоАхтубинской пойме / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков, О.В. Бочарникова // Состояние и перспективы применения капельного орошения для интенсификации садоводства, виноградарства и овощеводства: материалы международной научно-практической конференции. - Украина. Киев: Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии наук Украины, 2012. -С. 26-27.

28. Бочарников, В. С. Исследование сорбционных свойств сорбентов с использованием ферритовых реагентов при очистке сточных вод / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков, М.А. Денисова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2019. - №1 (53). - С. 242-249.

29. Бочарников, В. С. Новые приемы возделывания овощных культур в системе водосберегающего орошения / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков // Овощеводство и тепличное хозяйство. - 2014. - №4. - С. 54-58.

30. Бочарников, В. С. Новые системы ресурсосберегающих способов орошения овощных культур / В.С. Бочарников, М.П. Мещеряков, О.В. Бочарникова // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в инновационном развитии АПК», посвященной 150-летию со дня рождения основоположника высшего гидротехнического и мелиоративного образования в России В.В. Подарева. -Москва: ФГОУ ВПО МГУП, 2012. - С. 98-103.

31. Бондаренко, В. Л. Особенности эксплуатации водозаборных сооружений в суровых климатических условиях / В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Сантехника. - 2019. - № 5. - 46-48

32. Бондаренко, В. Л. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко // Проблемы региональной экологии. - 2005. - №2. - С. 86-92

33. Бондаренко, В. Л. Природообустройство: территории бассейновых геосистем: учебное пособие / В. Л. Бондаренко; под общ. ред. И. С. Румянцева, В. Л. Бондаренко. - Ростов н/Д: Издательский центр Март, 2010. - 527 с.
34. Бондаренко, В. Л. Технологические схемы управления качеством воды на водных объектах / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин. - Новочеркасск: НИМИ, 1996 - 104 с.
35. Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере / Дис. д-ра тех. наук. – М., 1996. –357 с.
36. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - М.: Колос, 1973. - 199 с.
37. Водозаборные сооружения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский. - Москва: Стройиздат, 1976. - 368 с.
38. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции совершенствования / Е. Д. Хецуриани, Ю. И. Вдовин, И. А. Лушкин, Р. К. Халиков // Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. - 2011. - Вып. 2. -С. 55-61
39. Голованов, А.И. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях/ А.И. Голованов, О.С. Нови-ков// Тр. МГМИ. - М., 1974. - Т.34. – С. 121 - 124.
40. Григоров, М.С. Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье /М.С. Григоров, А.С. Овчинников, Е.П. Боровой, А.Д. Ахмедов // Волгоград: ВГСХА «Нива», 2010. – 244 с.130
41. Григоров, М.С. Внутрипочвенное орошение / М.С. Григоров. – М.: Колос, 1983. – 128 с.
42. Григоров, М.С. Обоснование и оптимизация параметров внутрипочвенного орошения для различных природных зон/ М.С. Григоров// Сб. науч. тр. ВСХИ. - 1984. - Т. 84. - С. 8 - 28.

43. Григоров, М.С. Эффективность различных способов полива/ М.С. Григоров // Зерновое хозяйство. - 1985. - №1. – С. 10 - 12.
44. Григоров, М.С. Контур увлажнения при внутрисочвенном орошении/ М.С. Григоров, А.Д. Ахмедов // Мелиорация и водное хозяйство. - 1999. - №4. – С.32 - 33.
45. Григоров, М.С. Современное состояние и развитие орошения в Волгоградской области / М.С. Григоров, А.Д. Ахмедов // Природообустройство и рациональное природопользование - необходимые условия социально - экономического развития России: сб. науч. тр. Ч. II. М.: МГУП, 2005. – С. 53 - 58.
46. Грушко, Д. В. Оценка водозаборной способности дренажа с защитно-фильтрующим материалом по значению напоров в придренной зоне / Д. В. Грушко, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 2(34). – С. 137-149. – DOI 10.31774/2222-1816-2019-2-137-149. – EDN EZBRKS.
47. Гикало, Г. С. Перец / Г.С. Гикало. - М.: Колос, 1982. - 119 с.
48. Голованов, А. И. Мелиорация земель / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров, В.Н. Краснощеков и др. - М.: Колос, 2011. - 825 с.
49. Голованов, А. И. Основы капельного орошения (теория и примеры расчетов) / А.И. Голованов, Е.В. Кузнецов. - Краснодар, 1996. - С.6-27.
50. Дубенок, Н. Н. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, О.А. Белик // Достижения науки и техники АПК. - 2009. - № 4. - С. 2224.
51. Журба, М. Г. Капельное орошение: проблемы чистой воды и надежность капельниц / М.Г. Журба // Гидротехника и мелиорация. - 1982. - № 7. - С. 38-43.
52. Журба, М. Г. Техничко-экономические аспекты нормирования качества оросительной воды / М.Г. Журба. - В кн.: Повышение качества оросительной воды. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 71-77.

53. Журба, М. Г. Технологические особенности работы систем капельного орошения / Ж.Г. Журба, Р.Н. Новик, Е.У. Журба, В.Г. Мошко, А.Т. Калеников // Гидротехника и мелиорация. - 1985. - № 4. - С. 30-34.

54. Ильинская, И. Н. Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе / И.Н. Ильинская. - Новочеркасск: РОСНИИПМ, 2001. - 163 с.

55. Комплекс мероприятий по разведению рыб в домашних условиях [Электронный ресурс] / А. В. Дьяченко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Д. В. Антонян // Эколого-экономический потенциал экосистем СевероКавказского федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса: материалы Всерос. форума с междунар. участием, посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента республики Дагестан М. Г. Алиева, г. Махачкала, 24-27 сентября 2015 г. / Дагестанский гос. ун-т. - Махачкала: ИПЭ РД Эко-Экспресс, 2015. -С. 184-185. - USB-flesh.

56. Комплексная установка для улучшения качества воды / Л. Н. Фесенко, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко и др. // Технологии очистки воды Техновод-2012: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 18-21 апр. 2012 г. / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: Лик, 2012. - С. 187190

57. Конструктивно-технологическая система обеспечения экологической безопасности водозаборных технологических комплексов / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Т. Е. Хецуриани // Инженерно-строительный вестник Прикаспия - 2020. - № 1 (32). - С. 25-35

58. Косиченко, Ю. М. Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов: учебное пособие / Ю. М. Косиченко. - Новочеркасск: НГМА, 2000. -230 с.

59. Килиди, Х. И. Водозаборное сооружение для целей орошения земель в горных условиях Северного Кавказа / Х. И. Килиди, Е. В. Кузнецов,

А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 89-104. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-1-89-104. – EDN ARIPWK.

60. Килиди, Х. И. Особенности эксплуатации подруслового водозаборного сооружения / Х. И. Килиди // Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии : Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022 г., Краснодар, 12 мая 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 256-257. – EDN YDQEXO.

61. Килиди, Х. И. Перспективы использования водоочистных фильтров в системах внутрпочвенного и капельного орошения / Х. И. Килиди, Д. Ю. Сорокашиш // Экология речных ландшафтов : Сборник статей по материалам VII Международной научной экологической конференции, Краснодар, 16 декабря 2022 года / Отв. за выпуск Н.Н. Мамась. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 122-125. – EDN YHZYSC.

62. Килиди, Х. И. Способ забора воды для целей капельного орошения / Х. И. Килиди // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год : Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 218-220. – EDN DYXHTT.

63. Килиди, Х. И. Охрана прибрежных ландшафтов от техногенных воздействий / Х. И. Килиди, В. А. Кузьменко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 82. – С. 647-656. – EDN PGKZAX.

64. Кузнецов, Ю. В. Режим орошения и водопотребление безрассадных томатов на фонах минерального питания при поливе дождевальными машинами «Кубань-ЛК» на светло-каштановых почвах Волгоградского Заволжья: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.01.02. / Кузнецов Юрий Владимирович - Волгоград, 1995. - 23 с.

65. Кузнецова, Е. И. Орошаемое земледелие: Учеб. Пособие / Е.И. Кузнецова, Е.Н. Закабунина, Ю.Ф. Снопич. - М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2012. -117 с.
66. Курбанов, С. А. Водопотребление и урожайность перца в зависимости от приемов агротехники / С.А. Курбанов, Д.Н. Магомедова, М.М. Шуаев // Проблемы развития АПК региона. - 2014. - №2(18). -- С.22-25;
67. Курбанов, С. А. Основы земледелия / С.А. Курбанов. - Махачкала, 2009. - 317 с.
68. Кузнецов, Е. В. Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 19-33. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-1-19-33. – EDN WPTICL.
69. Математическая модель распространения влаги при иссушении почвы агроландшафтов / В. Н. Гельмиярова, А. Д. Гумбаров, А. Е. Хаджиди, Х. И. Килиди // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 36. – С. 335-337. – EDN PBPZTT.
70. Мещеряков, М. П. Повышение эффективности использования оросительной воды при различных способах полива с применением природных сорбирующих мелиорантов : специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мещеряков Максим Павлович, 2022. – 430 с. – EDN UHZALF.
71. Методика расчета параметров расчистки русел южных степных рек / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, Х. И. Килиди, А. Н. Куртнезирова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 48. – С. 164-170. – EDN TGTUXH.
72. Патент № 2810747 С1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Способ утилизации дренажного стока : № 2023106304 : заявл. 16.03.2023 : опубл. 28.12.2023 / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди, А. Н. Куртнезирова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". – EDN FWVGEM.

73. Патент № 2807694 С1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Пруд-испаритель дренажного стока : № 2023101389 : заявл. 23.01.2023 : опубл. 21.11.2023 / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди, А. Н. Куртнезиров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". – EDN ESVMWC.

74. Овчинников, А.С. Капельное орошение сладкого перца в условиях Волго-Донского Междуречья / А.С. Овчинников, О.В. Данилко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / Мещерский филиал ВНИИГиМ им. Костякова. – Рязань, 2004. – С. 388-391.

75. Овчинников, А.С. Капельное орошение сладкого перца в условиях Волго-Донского Междуречья / А.С. Овчинников, О.В. Данилко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / Мещерский филиал ВНИ-ИГиМ им. Костякова. – Рязань, 2004. – С. 388-391.

76. Овчинников, А.С. Ресурсосберегающая технология капельного орошения сладкого перца / А.С. Овчинников, О.В. Данилко, М.М. Гавра // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: сбор. науч. докладов междунар. науч.- практ. конф. Коломна: ФГНУ ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. – С. 89-90.

77. Тратникова, А. А. Комплексная технология повышения продуктивности мелиоративной системы / А. А. Тратникова, И. С. Носуля, Х. И. Килиди // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за

выпуск А.Г. Коцаев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 630-632. – EDN PYRQUT.

78. Хецуриани Е. Д., Гарбуз А. Ю., Хецуриани Т. Е. Научные основы разработки гидротехнических устройств для обеспечения надежности и безопасной работы водозаборов // Мелиорация и гидротехника = Land Reclamation and Hydraulic Engineering [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 332–345. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1253> (дата обращения: 22.11.2021). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345.

79. Хецуриани, Е. Д. Аспекты разработки конструктивно-технологических устройств для безопасной работы водозаборов мелиоративных систем / Е. Д. Хецуриани, С. М. Васильев // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 5. – С. 96-100. – DOI 10.28983/asj.y2022i5pp96-100. – EDN WWEFCI.

80. О системном подходе к разработке программного комплекса поддержки проектирования водозаборных сооружений оросительных систем / В. Н. Щедрин, В. И. Коржов, А. А. Белоусов, А. Б. Белоусов, М. В. Герасименко, В. К. Клевцова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 4(36). – С. 1–16. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=631>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-1-16.

81. Роде, А. А. Водный режим почв и его регулирование / А. А. Роде. -М.: Издательство академии наук СССР, 1963. - 122 с.

82. Рождественский, А. В. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанова. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. - 447 с.

83. Российская Федерация. Законы. Об охране атмосферного воздуха [Текст]: федеральный закон № 313-ФЗ: принят 31.12.08 (с изменениями)

84. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды [Текст]: федеральный закон № 7-ФЗ [принят Гос. Думой 20 декабря 2001 г.; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]. - 10.01.2002 (с изменениями)
85. Россия: Водохозяйственное устройство / под научной редакцией А. М. Черняева; РосНИИВХ. - Екатеринбург: изд-во Агрокосмозология, 1999. - 400 с.
86. Сергеев, К. Преимущества капельного орошения сельхозкультур / К. Сергеев. // Техника и оборудование для села. - 2011. - № 7 (169). - С. 15-17.
87. Штанько, А. С. Фильтрующие водозаборы из водотоков для подачи предварительно очищенной воды в системы капельного орошения / А. С. Штанько // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2020. – № 3(39). – С. 123–139. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1142>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-123-139.
88. Шкура, В. Н. Фильтрующие водозаборы из водоемов для приводохранилищных рыбоводно-мелиоративных комплексов / В. Н. Шкура, А. В. Шевченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2021. – № 3(83). – С. 58-64. – EDN АНУХНО.
89. Ясониди, О.Е. Проектирование систем капельного орошения / О.Е. Ясониди // Тр. НИМИ. – Новочеркасск, 1984. – 101 с.
90. Ясониди, О.Е. Капельное орошение на Северном Кавказе: Ростов-на-Дону / О.Е. Ясониди. – изд. Ростовского университета, 1987. – 76 с.
91. Akhmedov, A. D. Water-saving technologies for vegetables in the south of russia / A.D. Akhmedov, E.P. Borovoy, E.A. Khodiakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019.- 2019. - P. 102-105.
92. Method of restoring water level of small rivers / E. Kuznetsov, A. Khadzhide, L. Motornaya [et al.] // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021

года. Vol. 273. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – P. 05007. – DOI 10.1051/e3sconf/202127305007. – EDN UCOSDP.

93. Technology of Restoring Degraded Water Objects / Kuznetsov, E., Khadzhidi, A., Motornaya, L., Kravchenko, L., Tratnikova, A. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 509, pp. 1587–1593.

94. Development of the Water Management Complex by Increasing Water Availability of Small Watercourses of the Krasnodar Territory, Khadzhidi, A., Boukhanef, I., Motornaya, L., ...Tratnikova, A., Kravchenko, L. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 575 LNNS, Pp 282–289.

95. Khetsuriani, E. D. Analysis and Evaluation of Parameters Determining Maximum Efficiency of Fish Protection [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. P. Kostiukov, T. E. Khetsuriani // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017.- Vol. 262.- URL:<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012175/pdf>.

96. Khetsuriani, E. D. Objectives of increase of capacity and lifetime of municipal solid waste dump according to density index study [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, D. S. Larin, E. V. Staseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 680 : XV International Scientific-Technical Conference "Dynamics of Technical Systems" 11-13 September 2019, Rostov-on-Don, Russian Federation / Don State Technical University. - № 012016. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/680/1/012016/pdf>.

97. Ryazantsev, A. I. Ecological-energy directions for improving multiple sprinkling machines/ A.I. Ryazantsev, G.V. Olgarenko, I.A.Uspensky, A.O. Antipov, G.K. Rembalovich, M.Yu. Kostenko, V.A. Makarov, B.A. Nefedorov, E.P. Borovoi, A.D. Akhmedov, E.S. Vorontsova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2019. - Vol. 14. - № 3.- P. 677-685.

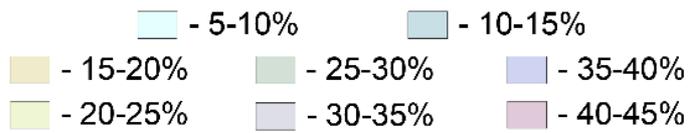
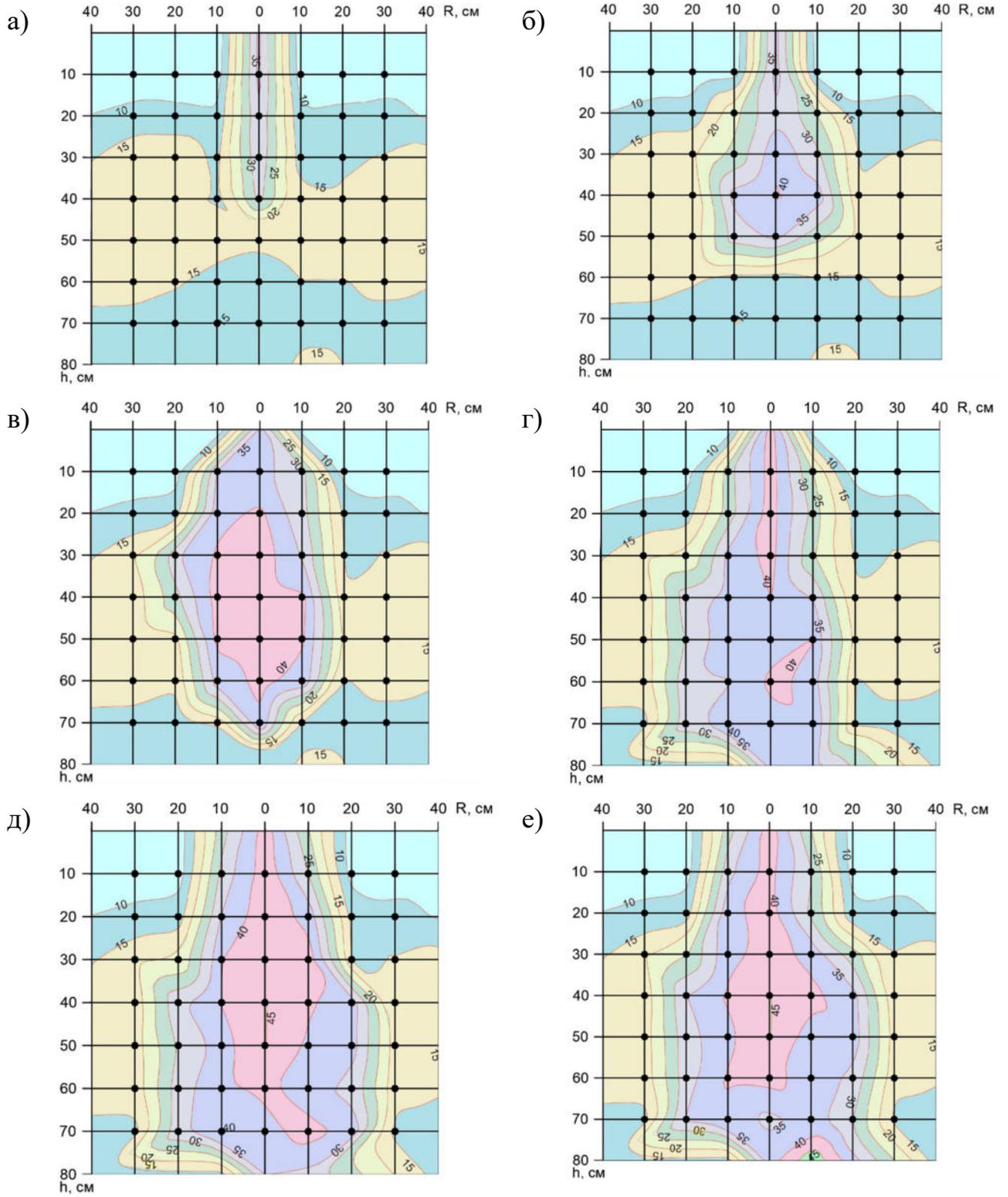
98. Methodological measurement basis environmental safety in construction and operation of water management facilities [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuri-ani, V. L. Bondarenko, O. V. Klimenko, E. A. Semenova // E3S Web of Conferences. - 2019. - Vol. 126 : 2019 International Conference on Modern

Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol; Russian Federation; 9 - 13 September 2019. - Номер статьи 00066. - URL :[https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf\\_icmtmte2019\\_00066.pdf](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf_icmtmte2019_00066.pdf)

99. Ovchinnikov, A. S. Wastewater treatment from agricultural enterprises using sprinkler irrigation and utilizing sludge as a fertilizer / A.S. Ovchinnikov, M.A. Denisova, O.V. Bocharnikova, V.S. Bocharnikov, N.V. Kuznetsova, Y.V. Kuznetsov, T.V. Repenko, M.P. Meshcheryakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 659(1). - 2021.- 012058.

100. Ovchinnikov, A.S. Wastewater preparation for irrigation based on the sorption filtering technology / A.S. Ovchinnikov, V.S. Bocharnikov, M.A. Denisova, M.P. Meshcheryakov, O.V. Bocharnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 488(1). - 2020. - 012056.

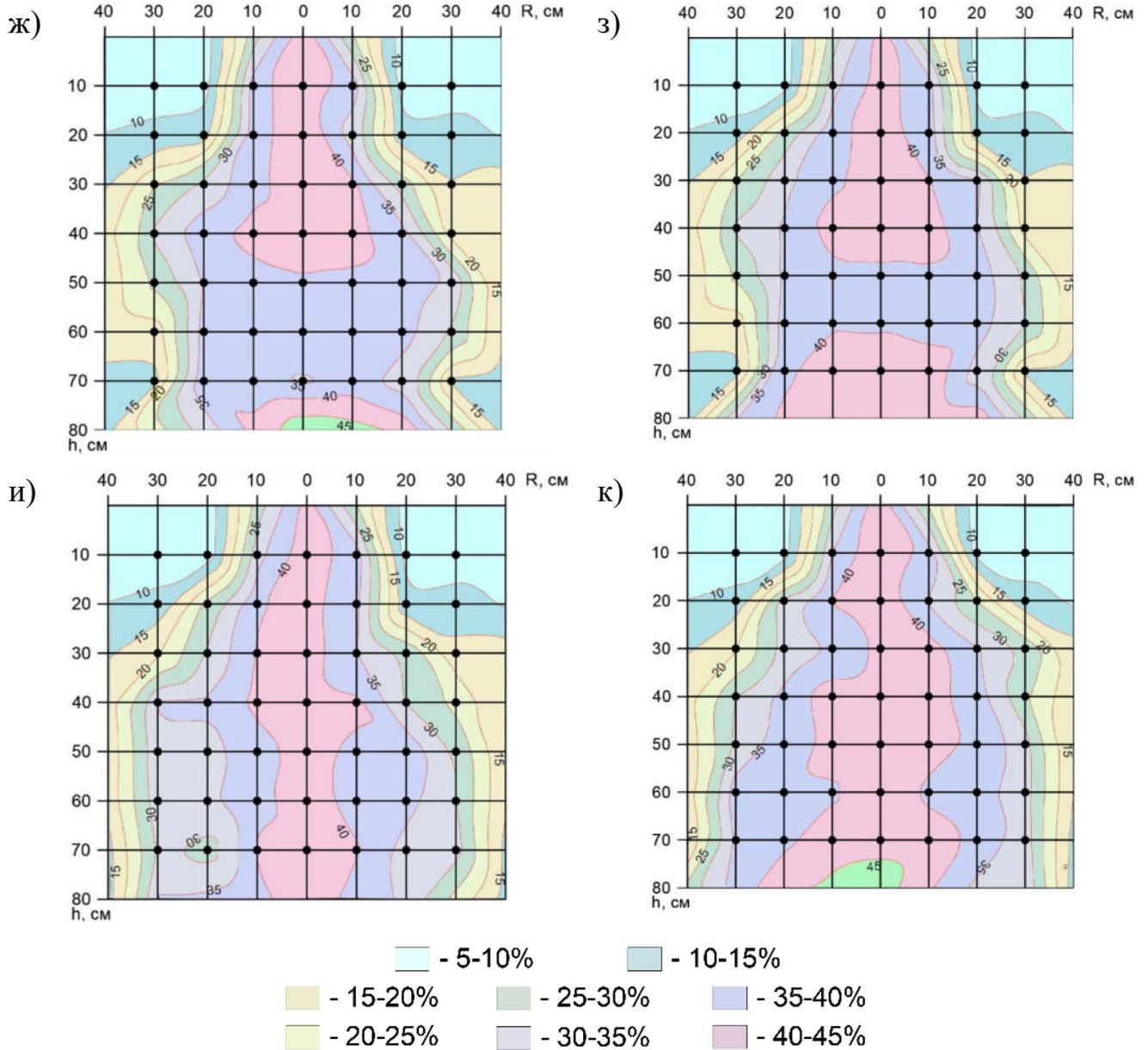
## ПРИЛОЖЕНИЯ



а – 1 час полива; б – 2 час полива; в – 3 час полива;

г – 4 час полива; д – 5 час полива; е – 6 час полива.

### Картограммы влажности в почвенном профиле на фильтрующем основании

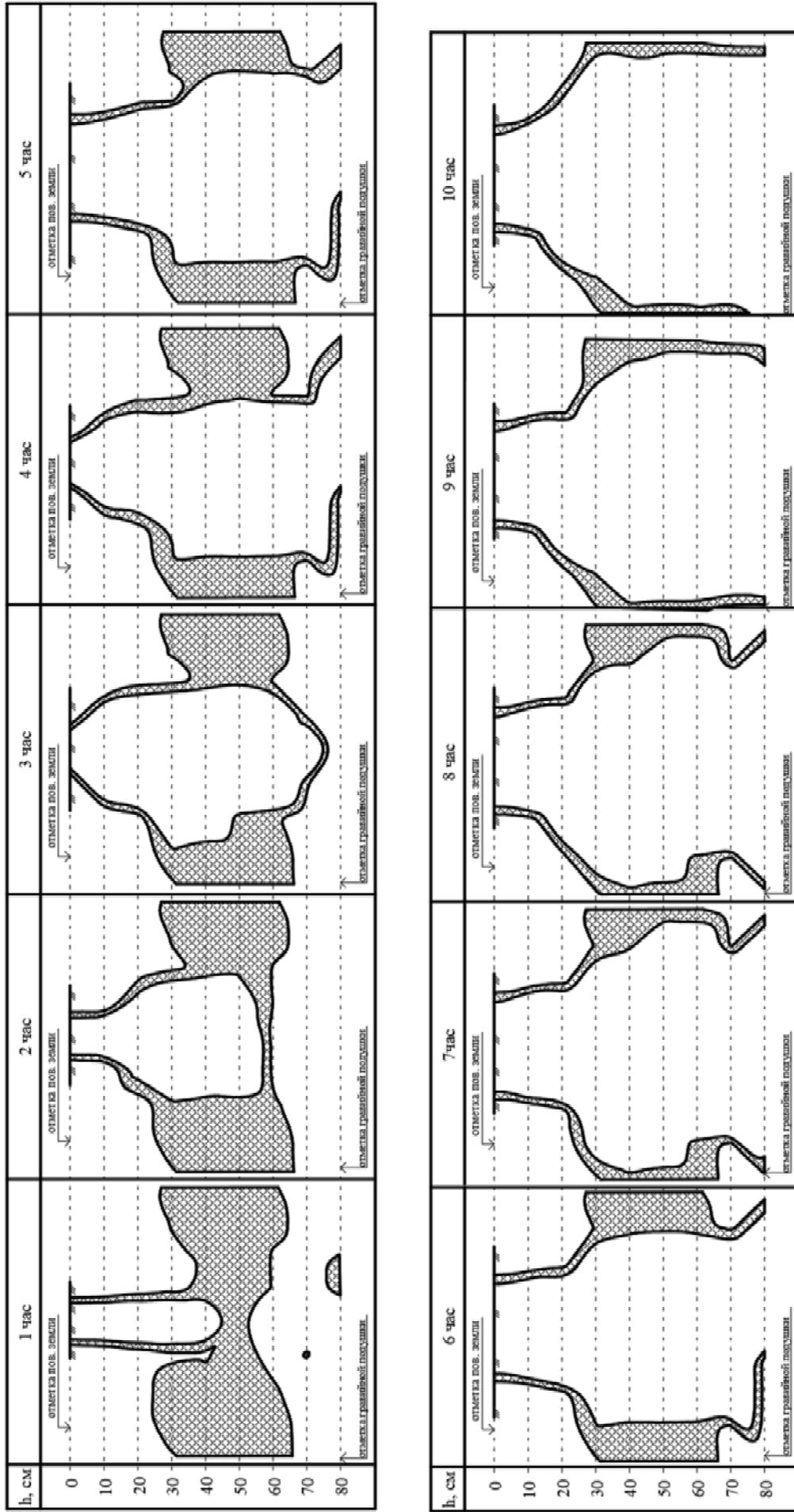


ж – 7 час полива; з – 8 час полива;

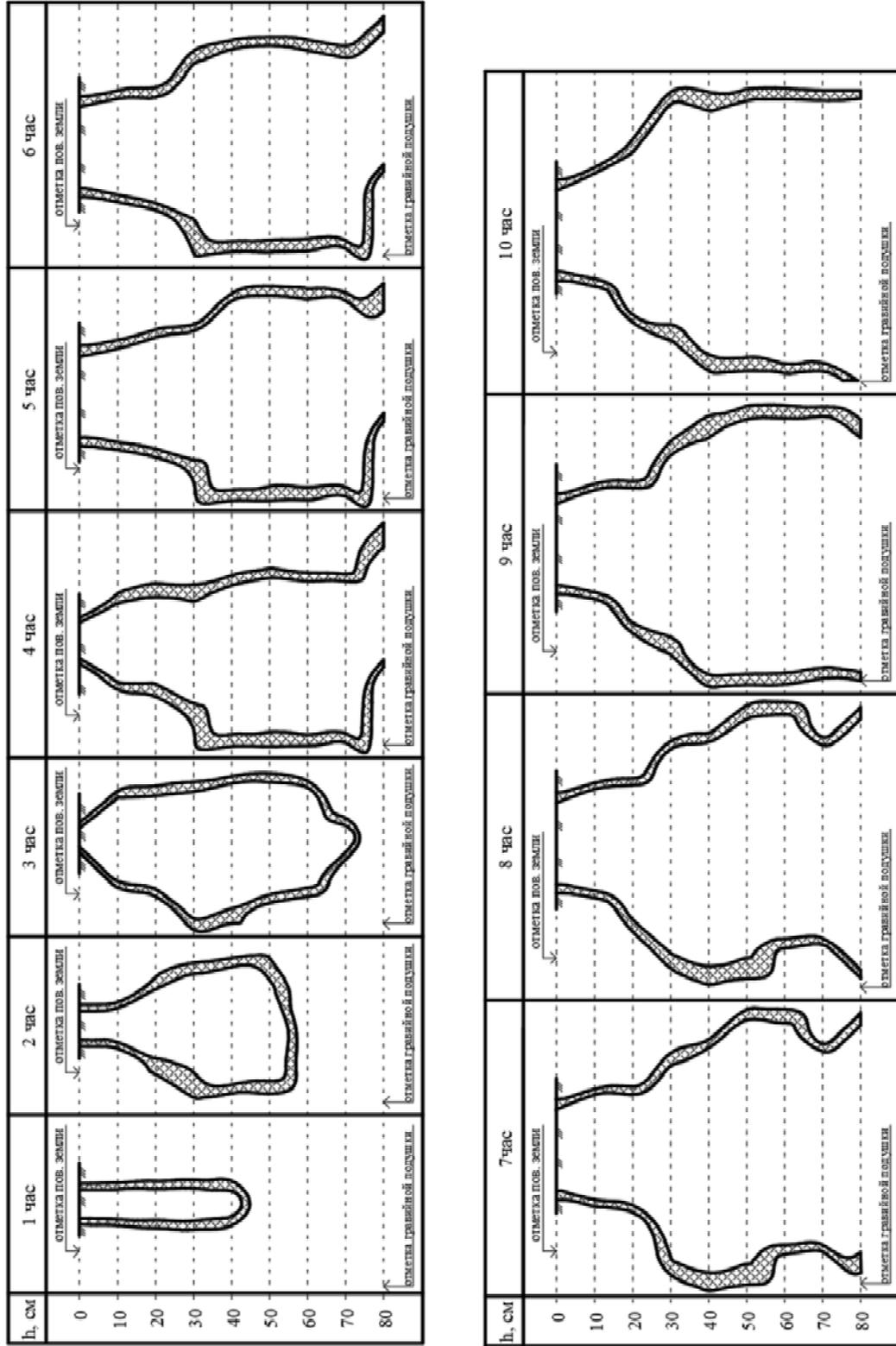
и – 9 час полива; к – 10 час полива.

### Картограммы влажности в почвенном профиле на фильтрующем основании

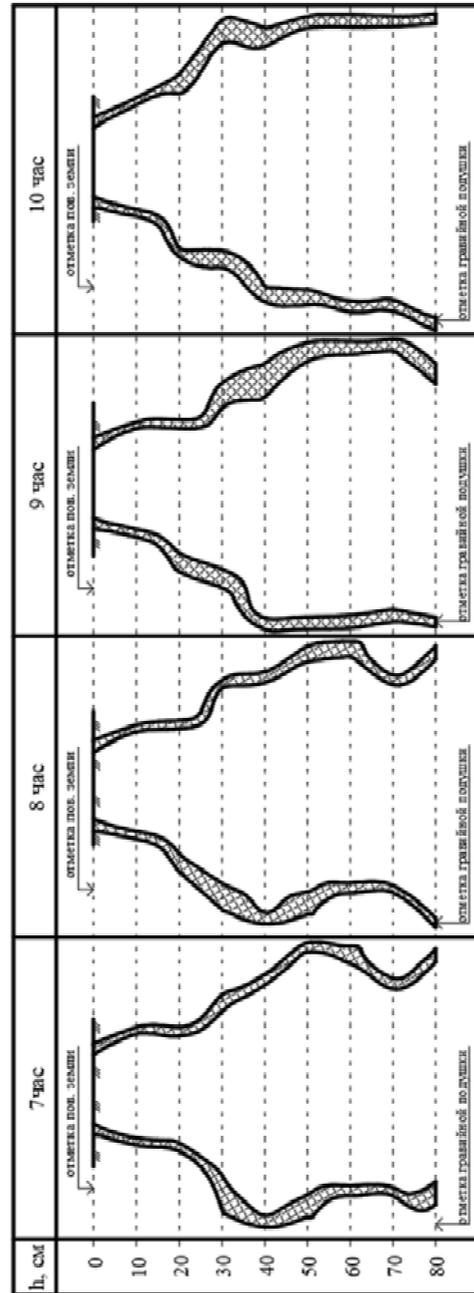
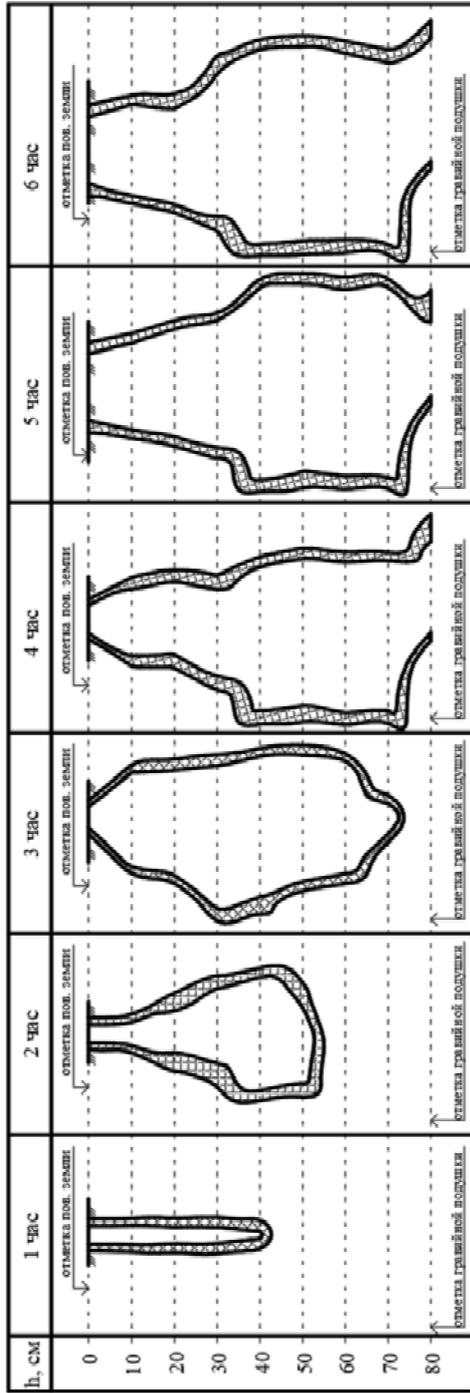
Результат оцифровки измерений предельной влажности 15% во времени



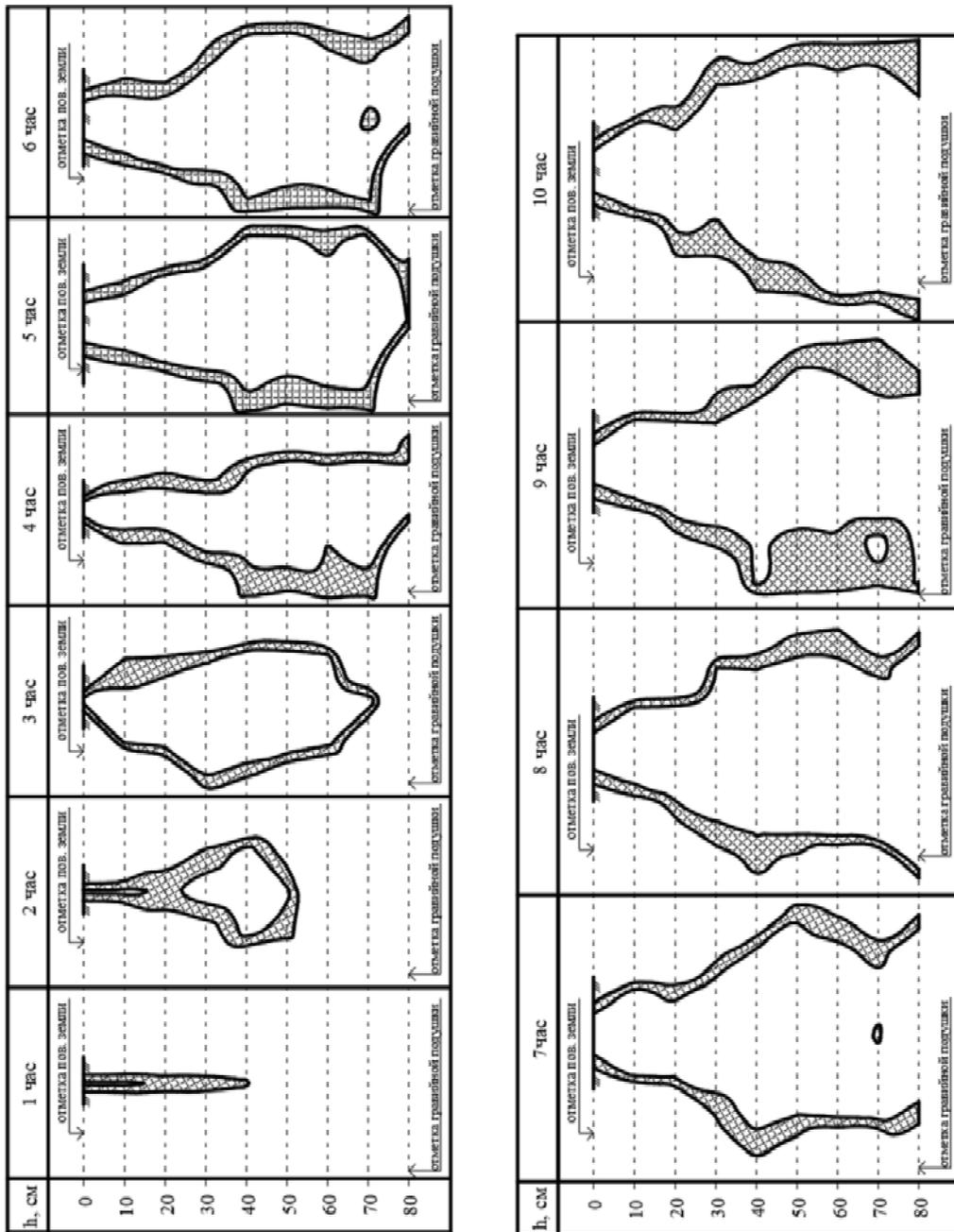
Результат оцифровки измерений предельной влажности 20% во времени



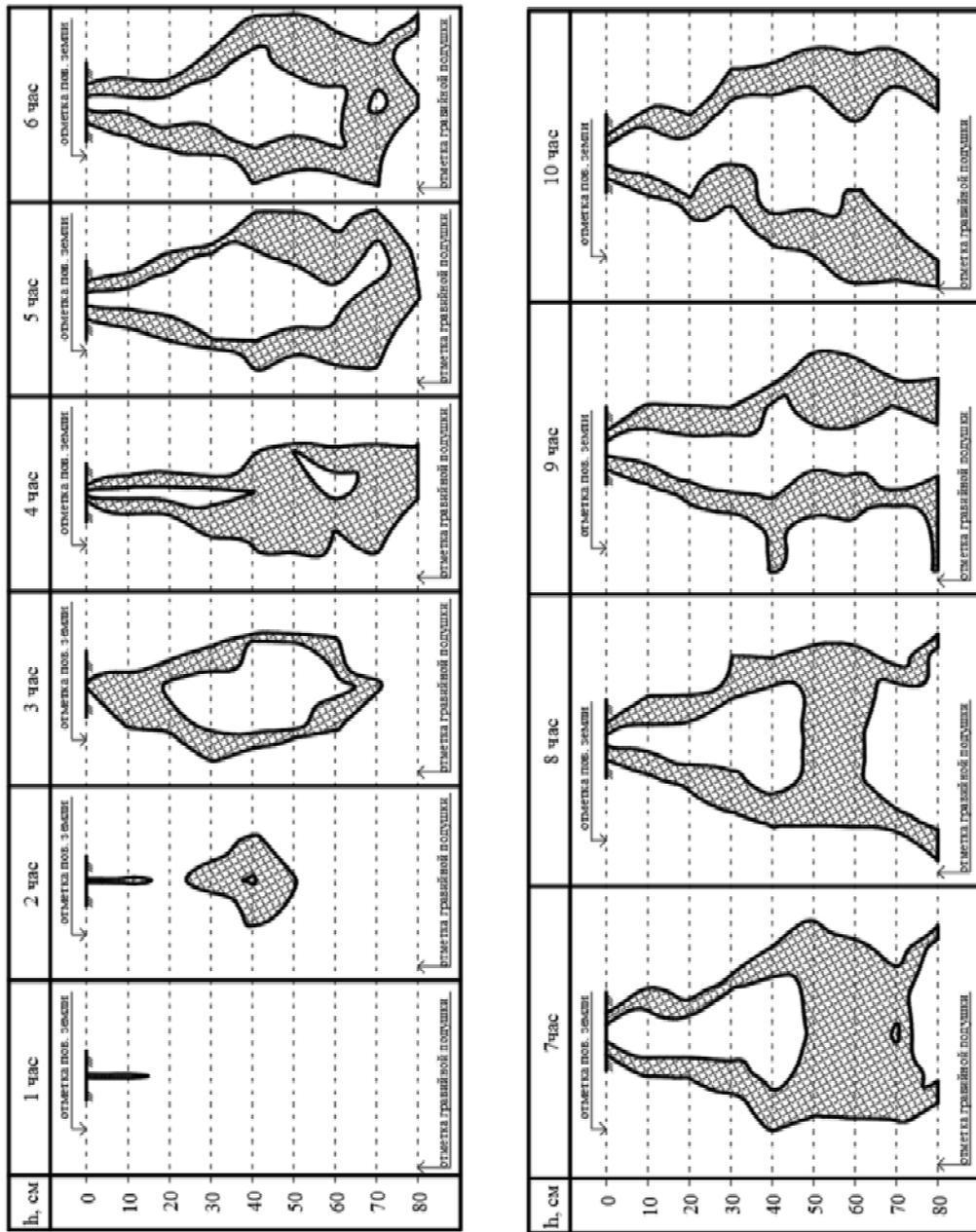
Результат оцифровки измерений предельной влажности 25% во времени



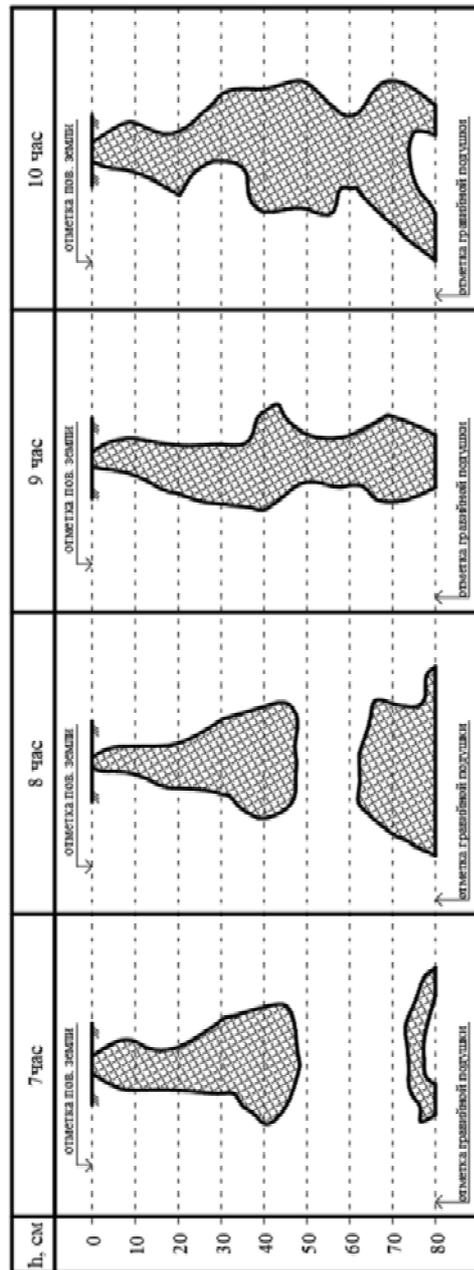
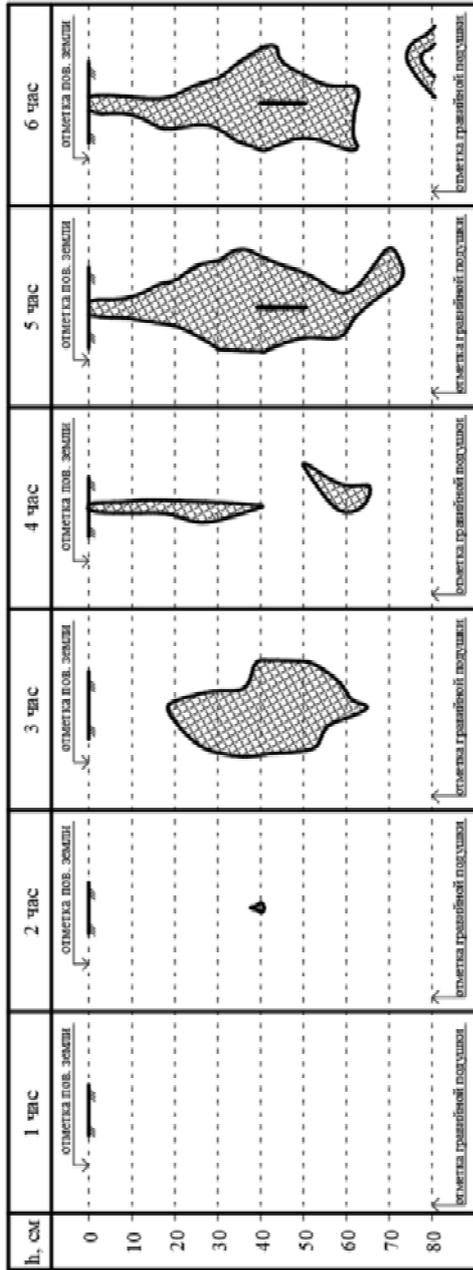
Результат оцифровки измерений предельной влажности 30% во времени



Результат оцифровки измерений предельной влажности 35% во времени



Результат оцифровки измерений предельной влажности 40% во времени



### Результат оцифровки измерений предельной влажности 45% во времени

h, см	1 час	2 час	3 час	4 час	5 час	6 час
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						

h, см	7 час	8 час	9 час	10 час
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				