


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

  
На правах рукописи

**Килиди Харлампый 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 – 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	9
1.1 Режимы капельного орошения .....	9
1.2 Анализ влияния капельного орошения на корневую систему яблонь .....	17
1.3 Анализ мелиоративных водозаборных сооружений из горных рек при эксплуатации систем капельного орошения.....	21
1.4 Конструктивно-технологические параметры фильтров на водозаборных сооружениях.....	23
Выводы по разделу 1.....	30
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ САДОВ.....	33
2.1 Анализ природно-климатических условий района исследований..	33
2.2 Разработка системы капельного орошения ООО «Мускат».....	37
2.3 Исследование качества оросительной воды .....	41
2.4 Лабораторные исследования движения и распределения влаги в почвогрунте на дренажном слое. Методика исследований.....	46
2.5 Результаты исследования динамики увлажнения почвогрунта при капельном поливе садов.....	50
Выводы по разделу 2.....	60
3 МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА КОНСТРУКЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНЫХ РЕК.....	62

3.1	Обзор критериев, влияющих на выбор типа конструкции мелиоративного водозабора.....	62
3.2	Обоснование рисков для выбора типа мелиоративного водозаборного сооружения на основе природных и антропогенных факторов .....	75
3.3	Разработка факторной бальной шкалы.....	82
	Выводы по разделу 3.....	89
4	РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ .....	91
4.1	Методика расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения .....	91
4.2	Лабораторные исследования конструкции фильтрующего водозаборного сооружения.....	96
4.3	Лабораторные исследования мутности потока. Методика исследований.....	101
4.4	Разработка новой конструкции фильтрующего водозаборного сооружения .....	105
	Выводы по разделу 4.....	113
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	117
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	118
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119
	Приложение А.....	136
	Приложение Б.....	139
	Приложение В.....	147
	Приложение Г.....	152
	Приложение Д.....	157

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Внедрение систем капельного орошения в сложных природных условиях Северного Кавказа лимитируется факторами, к которым можно отнести трудность забора воды из рек, где уровни воды колеблются в широком диапазоне в течение вегетационного периода; большие скорости потока и донные наносы. Забор воды на орошение ведется в весенне-летний период, когда на горных реках наблюдаются пики паводков и вода находится в избытке. Берега горных рек перерабатываются, русло часто мигрирует в пределах поймы, из-за чего возникает проблема дефицита водообеспеченности для орошения при избытке воды, и при этом, имеется значительная сложность выбора конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для данных гидрологических условий.

Процессы движения и распределения влаги в почвогрунте при капельном орошении садов для условий горной местности недостаточно изучены из-за сложных природных и антропогенных факторов, к которым можно отнести геолого-морфологические, почвенные, гидрологические условия региона и выбор конструкций водозаборных сооружений.

Комплексный подход к решению данной проблемы возможен путем разработки фильтрующего водозаборного сооружения и исследованию влажности в почвогрунте на дренажном слое для повышения водообеспеченности систем капельного орошения в условиях горной местности.

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

**Степень разработанности темы.** Исследованию систем капельного орошения и процессов движения влаги в почве при поливе посвящены труды ученых Голованова А. И., Григорова М. С., Овчинникова А. С., Бородычева В. В.,

Кузнецова Е. В., Мещерякова В. П., Пчелкина В. В., Штанько А. С., Ясониди О. Е. и др., 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: Журба М. Г., Образовский А. С., Лушкин И. А., Панкова Т. А., Петрашкевич В. В., Хецуриани Е. Д., Штанько А. С. и др., однако исследованию фильтрующих водозаборных сооружений, адаптированных к условиям горных водных объектов со сложным гидрологическим режимом, в научной литературе уделено недостаточно внимания.

**Цель исследований.** Повысить водообеспеченность системы капельного орошения фильтрующим водозаборным сооружением из реки Белая почвогрунтов на дренажном слое в условиях Майкопского района Республики Адыгея.

**Объект исследования.** Почвогрунт на дренажном слое; фильтрующее водозаборное сооружение.

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

**Задачи исследования:**

- провести анализ существующих систем капельного орошения садов и эффективности мелиоративных водозаборных сооружений при их эксплуатации;
- исследовать зависимости, моделирующие движение влаги в почвогрунте на дренажном слое при капельном орошении интенсивного яблоневого сада, для сложных природных условий Северного Кавказа;
- обосновать методику выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для неустойчивых гидрологических условий горных рек;
- разработать методику расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения;
- разработать новую конструкцию фильтрующего водозаборного сооружения, адаптированную к гидрологическим условиям горных рек.

### **Научная новизна** результатов исследования:

- установлено время полива капельницей расходом 2,5 л/час почвогрунта на дренажном слое толщиной 0,8 м, которое составляет не более 8 часов, позволившее эффективно расходовать воду источника орошения, при этом экономия поливной воды составляет до 10 % в горных условиях;
- впервые получены закономерности движения влаги в почвогрунте на дренажном слое толщиной 0,8 м, которые позволяют рассчитать объем влаги в пределах контуров увлажнения для капельного орошения яблоневого сада;
- разработан способ захвата воды в необходимом количестве и качестве из горных рек новым фильтрующим водозаборным сооружением с перфорированной промывкой внутри приемной трубы для системы капельного орошения, позволяющий повысить водообеспеченность яблоневого сада.

Новизна технических решений при разработке фильтрующего водозаборного сооружения подтверждена патентами № 2732496 и № 2732106.

**Теоретическая значимость работы** заключается в исследовании процесса движения и характера распределения влаги в почвогрунте на дренажном слое, во время и после полива при капельном орошении; установлении связи между длиной фильтра и расходом воды в фильтрующем водозаборном сооружении, определении времени полива и объема влаги в контуре увлажнения в почвогрунтах на дренажном слое яблоневого сада; разработке методики расчета фильтрующего водозаборного сооружения с промывкой внутри перфорированной трубы.

**Практическая значимость** заключается в разработке: методики выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения по факторной бальной шкале на основе интегрального показателя риска; методики расчета и определения конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения; определении перспектив использования систем капельного орошения с фильтрующими водозаборными сооружениями на почвогрунтах на дренажном слое в условиях горных агроландшафтов.

**Реализация результатов исследований.** Результаты диссертации внедрены на площади 341,48 га для сложных природных условий Северного Кавказа, новая конструкция ковшового фильтрующего водозабора, позволяющая удовлетворять

потребности в воде при экстремальных гидрологических условиях реки Белая в ООО «Мускат» Республики Адыгея (Акт внедрения от 14.05.2019); мелиоративная система на площади 309 га в ООО «Южные земли» с водозаборным сооружением в виде перфорированных труб, который обеспечивает забор воды при минимальных уровнях воды в реке Абин (Акт внедрения от 18.11.2019), и в учебный процесс на факультете Гидромелиорации Кубанского ГАУ по образовательной программе «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- зависимости, моделирующие движение влаги в почвогрунте на дренажном слое при капельном орошении интенсивного яблоневого сада, для сложных природных условий Северного Кавказа;
- методика выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для неустойчивых гидрологических условий горных рек по факторной балльной шкале на основе интегрального показателя рисков;
- методика расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения;
- новая конструкция фильтрующего водозаборного сооружения для гидрологических условий горных рек.

**Степень достоверности научных результатов и выводов** подтверждается значительным объемом опытных данных, их обработкой методами математической статистики с использованием программных продуктов MS Excel 2010, Statistica-10 и визуальным анализом полученных результатов.

**Апробация результатов работы.** Результаты исследований доложены на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. «Цифровая трансформация науки и образования», Нальчик, 2025; ежегодных научно-практических конференциях Кубанского ГАУ: «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии», 2023 г., 2024 г.; VII Международной научной экологической конференции «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., Национальной конференции «Стратегии и векторы развития АПК», 2021; 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, 24–26 февраля 2021 г., Rostov-on-Don; 8th Innovative technologies in science and education, 2020, Rostov-on-Don; Международной научно-практической конференции «Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее», Волгоград, 2020 г.

**Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в работе,** заключается в проведении научного-практического анализа типов конструкций водозаборных сооружений и способов забора воды для систем капельного орошения на горных агроландшафтах; разработке и исследованию физической модели фильтрующего водозаборного сооружения; выборе типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения по факторной балльной шкале на основе интегрального показателя рисков; исследовании процесса движения и распределения влаги в почвогрунте на дренажном слое на лизиметре; разработке методики расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения с промывкой внутри перфорированной трубы.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 20 научных работ, в том числе 2 статьи в международных базах данных, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 патента, 12 статей в других изданиях РИНЦ. Общий объем публикаций составляет 8,68 п. л., из них личный вклад автора – 2,72 п. л.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы, приложения. Работа изложена на 159 страницах компьютерного текста, включает в себя 41 рисунок, 22 таблицы и 5 приложений. Список литературы состоит из 141 наименования.



# **1 АНАЛИЗ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Систему капельного орошения (СКО) удобно применять для орошения садов на горных ландшафтах, где имеются небольшие участки местности с большими уклонами, недостаточным плодородием земель. Как правило, эти участки располагаются рядом с водотоками, горными реками, имеющими нестабильный расход воды. Пики паводков приходятся на весну и начало лета, когда необходимо подавать воду на орошение садов, а ее и так в избытке. При этом возникает трудность забора воды на орошение из-за больших скоростей, влекомых наносов по дну реки. Берега перерабатываются, русло реки постоянно меняет свое положение в пределах поймы. Эти факторы определяют дефицит воды при ее избытке.

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

Другим важным вопросом является подача воды растениям. Имеется достаточно много исследований по движению влаги в почве, подаче воды к растениям по трубам и распределения по капельницам. В горной местности этот вопрос недостаточно изучен из-за сложных условий забора воды из водного источника; по геологическим причинам, а также распределения ее по рельефу агроландшафта к растениям.

## **1.1 Режимы капельного орошения**

Эффективность эксплуатации мелиоративных систем зависит от обоснованного выбора режима орошения, который определяет энергоемкость, объем забора воды, качество полива, эколого-экономическую эффективность

капельного орошения (КО) [75, 78], особенно в условиях горной местности. Исследованию режима капельного орошения садов и виноградников посвящены работы Багрова М. Н. [13, 14, 15, 16, 17] и Кружилина И. П. [14], Григорова М. С. [49-54], Голованова А. И. [43-45], Маслова Б. С. [81], Кузнецова Е. В. [72-73], Гумбарова А. Д. [56, 98], Бородычева В. В. [20, 28-30], Овчинникова А. С. [87], Храброва М. Ю. [112] Ясониди О. Е. [118, 119] и др. [1, 7, 12, 19, 20, 34-36, 37, 38, 41, 57, 59, 61, 106, 113].

Учеными отмечается, что движение влаги при капельном орошении происходит от центра подачи воды капельницей к периферии с формированием очага увлажнения в почве. Однако, из данного утверждения можно сделать вывод, что размер очага, скорость увлажнения, объем подачи, температура воды 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, орошаемой культуры.

Режим 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>/ч;

$m_k$  – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;

$F$  – площадь СКО, га;

$t$  – продолжительность полива овощных культур, ч.

Европейские и американские исследователи считают, что полив культур должен выполнять ежедневно [121, 126, 127, 141], 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 Григорова М. С. [49]:

$$m = 100 h \varphi_{об} (\beta_в - \beta_n), \quad (1.3)$$

где  $\varphi_{об}$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина увлажнения слоя почвы, м;

$(\beta_в - \beta_n)$  – соответственно верхняя и нижняя граница оптимального увлажнения.

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

Флорце И. С. [105] для овощных культур предложил формулу для определения  $m$ :

$$m = q t n, \quad (1.4)$$

где  $q$  – расход капельницы, л/ч;

$t$  – продолжительность полива овощных культур, ч;

$n$  – число капельниц, шт.

Из формулы (1.4) можно определять время полива культур, зная поливную норму, которую можно вычислить из известных зависимостей, например, по формуле (1.2).

Ученые Чаусов В. М. и Скобельцын Ю. А. [113] рекомендуют для виноградников вычислять поливную норму по формуле:

$$m = 0,785 d^2 (h - 0,15) a 0,1 , \quad (1.5)$$

где  $d$  – расстояние между кустами, м;

$h$  – глубина активного слоя почвы, м;

$a$  – объемная масса почвы, т/м<sup>3</sup>.

Данная формула рекомендована при ширине междурядий от 2,0 до 2,5 м и расстоянии между кустами от 1,0 до 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 Гумбарова А. Д. и Кузнецова Е. В. [73], которые описывают движение влаги в почве под капельницей в виде общего выражения:

$$m = k f(a, h, \Delta\beta), \quad (1.6)$$

где  $m$  – поливная норма культуры, м<sup>3</sup>/га,

$k$  – коэффициент, который учитывает проекцию кроны, фиктивные диаметры контуров увлажнения, долю площади увлажнения и др.;

$a$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина промачивания почвы, м;

$\Delta\beta$  - дефицит влаги в почве, %.

По рекомендациям научно-исследовательского института проблем мелиорации (РОСНИИПМ) [63] поливную норму можно рассчитать с учетом количества капельниц на поливном трубопроводе:

$$m = \alpha_1 A_1 R^2 H \Delta\beta, \quad (1.7)$$

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 (1.7) не учитывает плотность почвы, что вызывает сомнение при учете количества воды под растениями. Следует считать, что плотность почвы в (1.7) равна единице. Однако, данную зависимость нельзя применять для горной территории, так как в ней не учитываются уклоны местности.

Зависимость Гумбарова А. Д. [56] для вычисления  $m$  учитывает плотность почвы и имеет вид:

$$m = 5,24 D^2 H \alpha \Delta r K_v, \quad (1.8)$$

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, %;

$r_{min}$  – пред поливной порог влажности, %;

$K_v$  – коэффициент увлажнения объема.

Следует считать, что (1.8) наиболее взвешенно определяет поливную норму для садов, чем зависимость (1.7), так как учитывает пред поливной порог влажности, а также объем увлажнения почвы под капельницей. Недостатком данной формулы, на наш взгляд, следует считать, трудность вычисления коэффициента увлажнения объема.

Наиболее точная формула для определения поливной нормы сада предлагается Кузнецовым Е. В. [73], которая учитывает переход влажности в очаге увлажнения от одной зоны к другой через влагоемкость почвы:

$$m_k = K R_o^2 H_1 \Delta\beta_1 + K_l R_k^2 H_2 \Delta\beta_2, \quad (1.9)$$

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;

$\Delta\beta_1 = \beta_{пв} - \beta_{нв}$ ;  $\Delta\beta_2 = \beta_{нв} - \beta_{кр}$ ;  $K$  и  $K_l$  – эмпирические коэффициенты,

приводящие контуры увлажнения к форме цилиндра;

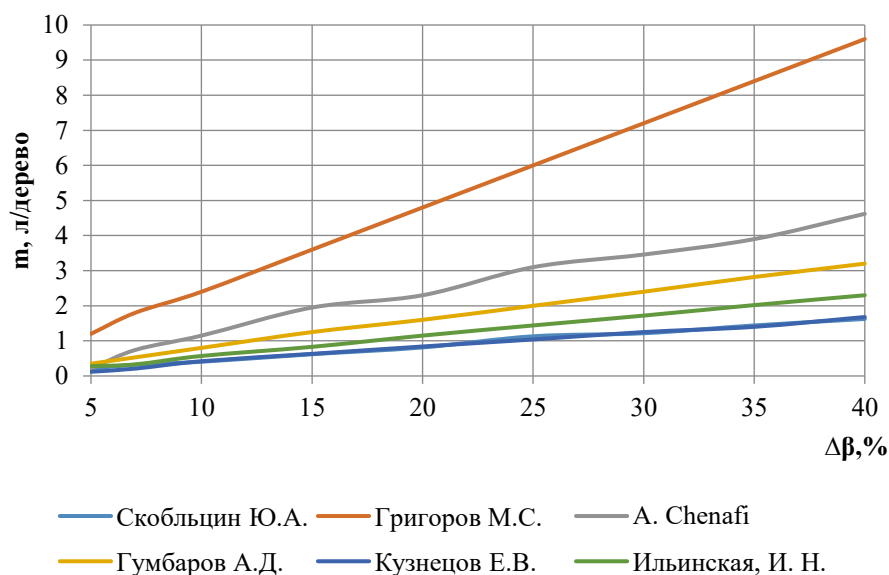
$\beta_{пв}$ ;  $\beta_{нв}$ ;  $\beta_{кр}$  – влагоемкость почвы: соответственно – полная, наименьшая и «критическая» (влажность «завядания») влагоемкости.

Выполнен анализ аналитических зависимостей (1.6 - 1.9) по расчету поливной нормы при капельном орошении, результаты сведены в таблицу 1.1.

Результаты анализа зависимостей (1.6-1.9) для  $m$  от  $\Delta\beta$  при постоянных параметрах глубины увлажнения корнеобитаемого слоя почвы 0,6 м, радиуса очага увлажнения 0,4 м, плотности почвы 1,2 т/м<sup>3</sup> представлены на рисунке 1.1.

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

$\Delta\beta$ , %	Способы расчета и $m$ , л/дерево					
	Скобелъцын Ю. А. [98]	Григоров М. С. [49]	A. Chenafi [121]	Гумбаров А. Д. [56]	Кузнецов Е. В. [73]	Ильинская И. Н. [63]
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

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

Исследования Кузнецова Е. В., Скобелъцына Ю. А. и РОСНИИПМ 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 от 20 до 30 %. Результаты, полученные по зависимости (рисунок 1.1), следует корректировать, так как необходимо учитывать транспирацию и испаряемость с поверхности почвы, что при эксплуатации СКО затруднительно. Исследования поливных норм, выполненные Кузнецовым Е. В., Гумбаровым А. Д., Скобелъцыным Ю. А. и Ильинской И. Н., возможно учитывать при обосновании

режима орошения садов в условиях предгорной зоны Северного Кавказа, так как они наиболее адаптированы и полно отражают процессы перемещения влаги в почве для обеспечения наилучшей потребности растений в оросительной воде, а также используются 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 [125].

При расчете полиэтиленовых поливных трубопроводов используется формула Кузнецова Е. В. [73] для поливных полиэтиленовых трубопроводов диаметром от 0,012 до 0,020 м:

$$h_f = a(v - n) \cdot \frac{LV^{1,75}}{D^{1,25}}, \quad (1.10)$$

где  $a$  и  $v$  – постоянные и безразмерные коэффициенты, учитывающие влияние ниппелей 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  $v = 84,974$ ; при числе капельниц на трубопроводе от 66 до 250 шт. –  $a = 0,74 \cdot 10^{-6}$  и  $v = 863,75$ . Из формулы (1.10) 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 необходимо уточнить формулу (1.10), так как отделение потока происходит дискретно.



Анализ существующих расчетов для режимов орошения садов и виноградников показал, что для каждого конкретного случая необходимо уточнять поливные нормы, которые зависят от культуры, типа почвы и природно-климатических факторов региона строительства системы капельного орошения. Величина поливной нормы и количество поливов для садов определяют объем подачи воды в систему капельного орошения через водозаборное сооружение. Объемы подачи воды в систему капельного орошения, а также геологические, морфологические и гидрологические условия влияют на выбор типа и конструкции мелиоративного водозаборного сооружения.

## **1.2 Анализ влияния капельного орошения на корневую систему яблони**

Искусственное увлажнение и технология полива растений оказывают определенное влияние на корневую систему яблони. Согласно исследованиям Бородычева В. В. [28] и его коллег [20 - 23, 102, 103, 124, 138], изменение глубины увлажняемого слоя при орошении от 0,4 до 0,8 м приводит к перераспределению корневой системы яблони в более глубокие почвенные горизонты. Лаптев И. М. [79] 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. Кошелева Р. В. [71] сообщает, что основная масса горизонтальных корней яблони в Средней Азии залегает на большей глубине при орошении по сравнению с естественными условиями.

Флорце И. С. [105] 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 см, 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 см при орошении, а 80 % корней по общей протяженности располагается на богаре и на глубине 46 см при орошении. Для сорта «Рихард

Делишес» на естественно увлажняемой почве, 69 % корней концентрируется в слое 21–40 см, а при поливе только 43,2 % корней находится в этом слое. Максимальная глубина корней составляет 60 см на богаре и 80 см при орошении. Глубина почвогрунтового слоя, где сосредоточено 80 % от общей массы корней, составляет 37 см на богаре и 42 см при орошении. Глубина активного почвокорневого слоя, содержащего 80 % от общей протяженности корней, составляет 38 см на богаре и 48 см 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 см в горизонт 20–40 см. Для сорта «Рихард Делишес» также наблюдается общее увеличение заглубления корневой системы с 60 см на богаре до 80 см при орошении.

Согласно исследованиям Рычкова Н.И. [96], 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 [31, 32]. При частых поливах малыми дозами корни располагаются ближе к поверхности земли, преимущественно в слое 0–20 см, в то время как при редких поливах большими объемами влаги корни располагаются на большей глубине. Яковлев С.А. [117] также подтверждает этот факт.

Исследования Хоржан О. К. [111] 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 м, при дождевании - от 0,14 до 0,3 м, а при капельном орошении - около 0,6 м. Для яблони сорта Джонатан, выращиваемой в Молдавии, основная часть корневой системы (80 % от суммарной протяженности корней) находится в слое от 40 до 55 см в богарных условиях и от 56 до 60 см при орошении. По показателю (80 % от общей массы корней) корни располагаются на глубине до 50–55 см на богаре и до 55–60 см при орошении.

Согласно данным Ахмедова А. Д. [12, 120], у яблони сорта «Мантет», выращиваемой при внутрпочвенном орошении в Волгоградской области, основная масса корней находится на глубине до 1,0 м, составляя

в среднем 88 % от общей протяженности корней, а в слое от 0,20 до 0,60 м располагается половина всех корней.

Исследования Акутневой Е. В. [8] и Ахмедова А. Д. [12] 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. [8] у сорта яблони «Мантет» при поверхностном поливе около 80 % основной массы корней располагается в слое до 0,60 м, а при внутрипочвенном орошении на такой же глубине только 57,7 %, при уменьшении их в слое до 20 см.

Однако, имеются альтернативные данные, представленные исследованиями, согласно которых у яблони сорта «Делишес», выращиваемой на аллювиально-галечниковых почвах Кабардино-Балкарии в системно поливаемых садах, корневая система находится в слое от 0 до 40 см при достаточном орошении, в слое от 20 до 60 см при недостаточном орошении, а на неорошаемых участках корни проникают на глубину до 140 см.

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

Анализ данных по глубине расположения корневой системы яблони, позволяют сделать вывод, что основная часть корней у плодоносящих крупнорослых растений располагается на глубине 0,8-1,0 м по массе и протяженности, у среднерослых – примерно от 0,6 до 0,8 м, а у низкорослых – от 0,4 до 0,6 м.

Согласно данных Колесникова В. А. [69], горизонтальные корни, которые имеют важное значение в питании плодовых растений, обычно располагаются в поверхностных почвенных горизонтах на глубине от 30 до 70 см.

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 [139].

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.

Из выполненного анализа влияния капельного орошения на корневую систему яблонь не установлено влияние (фильтрующего) гравелистого дренирующего слоя 0,8–1,2 м на глубину распространения корневой системы. Основная масса корневой системы до 75 – 80 % располагается в слое почвы А + В.

### 1.3 Анализ мелиоративных водозаборных сооружений из горных рек при эксплуатации систем капельного орошения

На горных ландшафтах СКО представляют собой более сложный мелиоративный комплекс, чем аналогичные системы КО на равнинных территориях, в частности, сложность заключается при эксплуатации таких систем, так как добыча воды из горных источников орошения усложняется большими скоростями потока, неустойчивым дебитом источника и большим количеством влекомых по дну наносов [2]. Существуют различные конструкции водозаборных сооружений поверхностных вод из рек. Выбор типа и конструкции водозабора определяются природными и антропогенными факторами: гидрологическим режимом источника; морфологией и геологией русла; режимом наносов; биологическими ресурсами и др. в створе водозабора [39, 127, 134].

Для горных участков рек используются донные галереи (рисунок 1.2) с отводом наносов в сторону от реки [86].



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

Рисунок 1.2 – Донные галереи

Данные конструкции водозаборов 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 участках горных рек, где уровни воды стабильны и не имеется крупных наносов в потоке. Схема ковшового водозабора приводится на рисунке 1.3.

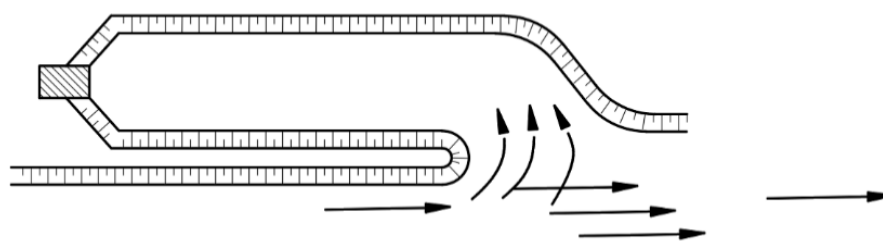
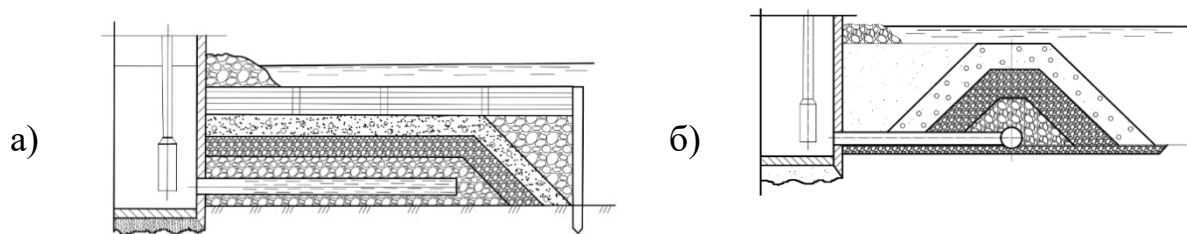


Рисунок 1.3 – Ковшовый водозабор

При устройстве данного водозабора на участках горных рек требуется постоянный контроль за состоянием ограждающих сооружений для предотвращения от размыва, а выполнять ограждающие сооружения из железобетона дорого и малоэффективно. При входе потока воды в сооружение необходимо соблюдать гидробиологические нормы по защите молоди рыб.

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



а – фильтрующая дрена; б – фильтрующая призма-откос

Рисунок 1.4 – Схема инфильтрационного водозабора

Инфильтрационные водозаборы в руслах рек устраиваются, когда оно сложено песчано-гравелистыми грунтами с высокими коэффициентами фильтрации. Однако, такая конструкция водозаборного сооружения требует больших затрат при эксплуатации, а также обязательных предварительных испытаний перед обустройством фильтрующих кассет (фильтров). При выборе таких водозаборов учитываются взаимосвязь геологического строения дна реки и морфология русла. 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.

Выполнив анализ существующих конструкций водозаборных сооружений для условий горных рек, можно заключить, что на выбор типа фильтрующих водозаборов влияют природные и антропогенные факторы. К основным природным факторам относятся колебание уровня воды горных из-за паводков, движения донных наносов по дну, вследствие больших уклонов, геологическое строение откосов и дна русла горной реки, устойчивость берегов, небольшие глубины, большие скорости воды. К антропогенным факторам относятся необходимость частой промывки всасывающих трубопроводов водозабора, большие энергозатраты, крепление берегов реки в месте водозабора, устройство отстойников и др.

#### **1.4 Конструктивно-технологические параметры фильтров на водозаборных сооружениях**

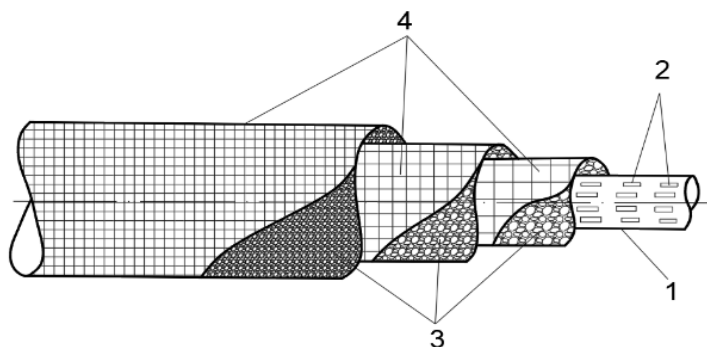
Основным элементом фильтрующего водозаборного сооружения является фильтр, который должен обеспечивать бесперебойную подачу воды из источника в оросительную систему. Устойчивая эксплуатация фильтра определяется его типом в зависимости от морфологических и гидрологических условий источника орошения. В случае забора воды из горных рек следует отдавать предпочтение горизонтальным фильтрам, так как 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 подрусловой 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 водозаборные сооружения широко применяются в сложных условиях эксплуатации сибирских рек, для защиты биоресурсов, попадания крупных наносов при значительном диапазоне расходов от 1 до 100 м<sup>3</sup>/с. Наметилась тенденция применения фильтрующих водозаборных сооружений в виде ковша, дренажа, фильтрующих откосов, плотин и др. [24, 39].

Однако, в мелиорации водозаборы такой конструкции практически не применяются, 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 перспективной конструкцией водозаборов с фильтрами является его устройство из трех слоев. Такая конструкция применяется при заборе воды из малых рек. 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:



$$D_k = \frac{Q_{\text{отб.тр}}}{f \cdot \pi \cdot v_\phi} \quad (1.11)$$

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 (1.11) получена из уравнения расхода и является необходимой для предварительных расчетов фильтра. Для более точного расчета геометрических параметров фильтра следует применять уравнение неразрывности потока в виде:

$$F_\phi v_\phi = F v, \quad (1.12)$$

где  $F_\phi$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь галереи, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость в галерее, м/с.

В уравнении (1.12) Письменский Ф. И. [91] предложил скорость фильтрации вычислять по формуле:

$$v_\phi = 65 \sqrt[3]{K_{\text{ф.алл}}}, \quad (1.13)$$

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 [46, 47, 62, 67, 99, 115, 116]. В этом случае для вычисления скорости фильтрации используется формула Дарси:

$$v_{\phi} = K_{\phi} \cdot J = K_{\phi} \frac{dH}{dt}, \quad (1.14)$$

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:

$$v_{\phi} = K_{\phi} \cdot J^{\frac{1}{m}}, \quad (1.15)$$

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

Обычно  $m$  принимается равной 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.

Избаш С. Б. [62] для расчета скорости фильтрации через фильтр предлагает формулы:

$$v_{\phi} = S_0 \cdot p_0 \cdot \sqrt{d \cdot J}, \quad (1.16)$$

и

$$v_{\phi} = S_0 \cdot p_0 \cdot \sqrt{v_0^{m-2} \cdot d^{3-m} \cdot J}, \quad (1.17)$$

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 Шеши.

Формулы (1.16) и (1.17) наиболее точно описывают движение жидкости в фильтрах, т.к. учитывают все потери напора через обобщенный коэффициент Шеши.

Имеются исследования Избаша С. В. [62] и Гордиенко П. И. [47] 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.

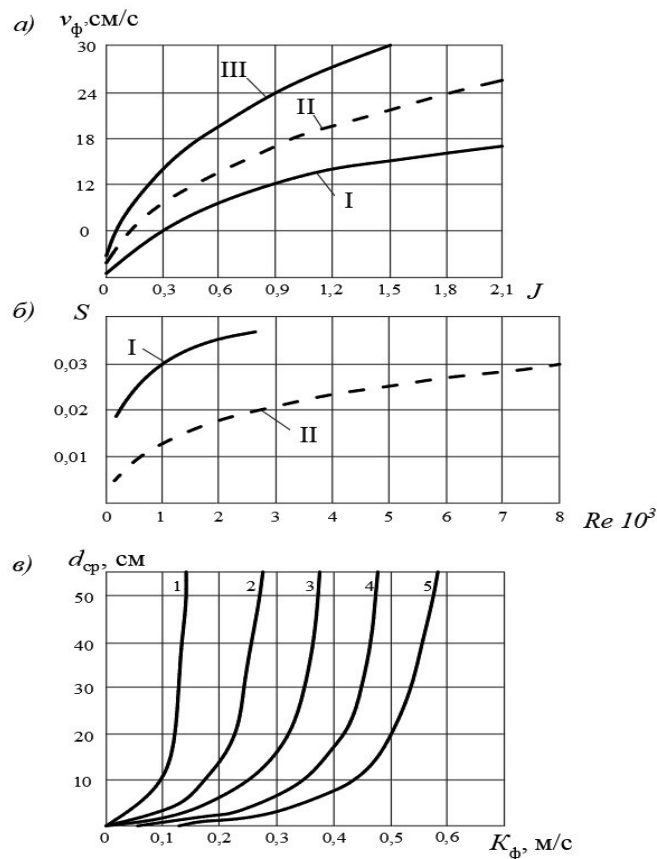
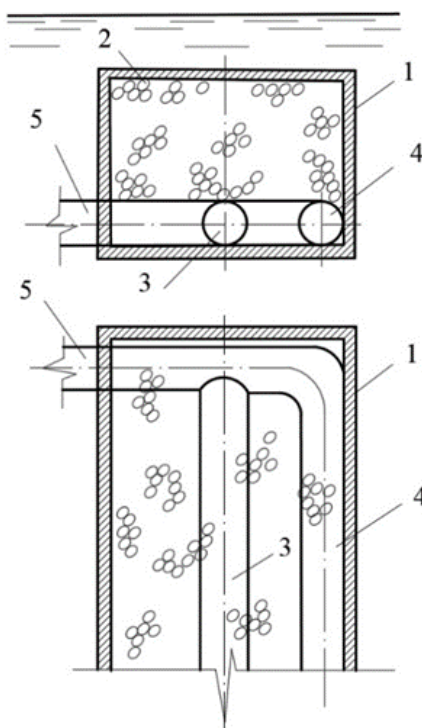


Рисунок 1.6 – Графики для определения скорости фильтрации фильтра на основании исследования Избаша С. В. и Гордиенко П. И.

Исследования показывают о наличие переходной области для гравийных фильтров,  $m = 1,386$ . Ламинарный режим наблюдается при небольших  $J \geq 0,1$ . Ими отмечается, что данные фильтры могут обеспечивать надежный водоотбор при наличии в потоке водорослей, планктона, выполняя необходимый комплекс рыбозащиты.

*Особенности промывки фильтра водозаборных сооружений.*

Предложена конструкция фильтрующего водоприемника, которая дана на рисунке 1.7, при исследовании фильтрующих материалов фракцией от 15 до 100 мм при толщине слоя от 0,2 до 0,8 м. Скорость на входе  $v_{вх}$  изменялась 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 [10] указывают, что несмотря на различную загрузку слоев 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 сила выпора определяется по формуле:

$$F_{\epsilon} = \gamma F_{\phi} h_{\phi} J , \quad (1.18)$$

где  $F_{\text{в}}$  – сила выпора, кН;

$F_{\phi}$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

$h_{\phi}$  – толщина фильтра, м.

Формулу (1.18) 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 водозаборных сооружениях должны: не нарушать гидрологический режим источника; сохранять окружающую среду и биоресурсы [25, 27, 33, 70, 93, 95, 100, 140]. 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 [47, 55, 62] установлено, что фильтр при скорости фильтрации  $v_{\text{вх}}$  ниже 0,05 м/с, практически не заиляется. Смирнов А. А. [99] и Кузовлев Г. М. [76] рекомендуют, чтобы скорости на фильтре не превышали значение 0,02 м/с.

Для надежной работы фильтра при эксплуатации систем капельного орошения рекомендуется его периодическая промывка, которая определяется типом, крупностью наносов, местом расположения сооружения в реке, соотношением скоростей потока реки и входа воды в фильтр, площадью приемной части фильтра. Учеными установлено, что длительность промывки уменьшается с увеличением  $v_{\text{а}}$ , при этом промывные скорости значительно снижаются  $v_{\text{пр}}$ .

Обратная промывка обеспечивает полное удаление взвеси и засорений при определенной крупности заполнителя фильтров, в зависимости от типа, которые находятся в диапазоне (25–100) мм и более. Основными требованиями по устойчивости сооружения, являются расположение фильтра в сооружении, однородный состав материала, необходимая толщина фильтровальной загрузки.

Необходимая промывная скорость определяется типом фильтра и находится в диапазоне 0,05–0,2 м/с. Вымыв засорений из толщи 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.

Следовательно, наиболее перспективными водозаборными сооружениями для сложных условий горных рек являются инфильтрационные водозаборы, которые устраиваются в руслах рек. Для них следует предусматривать промывку фильтра обратным током воды. Для горных рек фильтрующий элемент должен быть размещен в русле и в ковше. Фильтр приемной камеры следует принимать многослойным, состоящим из 2–3 слоев. Приток воды к фильтру должен обеспечиваться со всех сторон при минимальной глубине воды над фильтром не менее 0,5 м. Для захвата воды следует применять перфорированные трубы с фильтрующей обсыпкой и высоким коэффициентом фильтрации, что значительно уменьшает стоимость водозаборного сооружения.

### **Выводы по разделу 1**

1. Из анализа существующих систем капельного орошения садов и эффективности мелиоративных водозаборных сооружений установлено, что учеными преимущественно рассматриваются вопросы режима капельного орошения для многолетних насаждений на почвогрунтах, не имеющих дренажного слоя, что характерно для равнинного рельефа. В горной местности вопрос подачи воды к растениям недостаточно изучен из-за наличия сложных природных условий: геолого-морфологических и почвенных.

2. Из выполненного анализа влияния капельного орошения на корневую систему яблонь установлено, что не приводится научных данных по влиянию (фильтрующего) гравелистого дренирующего слоя почвогрунта на глубине от 0,8 до 1,2 м на глубину распространения корневой системы. Основная масса (до 80 %) корневой системы яблонь располагается в слое почвы А + В.

3. Объемы подачи воды в систему капельного орошения, а также геологические, морфологические и гидрологические условия горных ландшафтов влияют на выбор типа и конструкции мелиоративного водозаборного сооружения.

4. При разработке конструкции и выборе типа водозаборного сооружения в составе системы капельного орошения должен учитываться гидрологический режим реки, когда в паводок наблюдаются высокие скорости воды, а в межень - малые глубины. На гидрологический режим рек оказывают влияние морфологические факторы, такие как извилистость, перекаты и уклоны участков рек, а также донные и взвешенные наносы. Выбор типа водозаборного сооружения определяет его устойчивость, надежность и долговечность при эксплуатации.

5. Наиболее оптимальными для эксплуатации водозаборными сооружениями на горных реках являются инфильтрационные водозаборы с промывкой фильтра обратным током воды. При этом, фильтрующий элемент должен быть размещен в русле и в ковше. Фильтр приемной камеры следует принимать многослойным, состоящим из 2-3 слоев и высоким коэффициентом фильтрации. Приток воды к фильтру должен быть обеспечен со всех сторон при минимальной глубине воды над фильтром не менее 0,5 м.

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

**Задачи исследования:**

- провести анализ существующих систем капельного орошения садов и эффективности мелиоративных водозаборных сооружений при их эксплуатации;

- исследовать зависимости, моделирующие движение влаги в почвогрунте на дренажном слое при капельном орошении интенсивного яблоневого сада, для сложных природных условий Северного Кавказа;
- обосновать методику выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для неустойчивых гидрологических условий горных рек;
- разработать методику расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения;
- разработать новую конструкцию фильтрующего водозаборного сооружения, адаптированную к гидрологическим условиям горных рек.



## **2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ САДОВ**

### **2.1 Анализ природно-климатических условий района исследований**

Система капельного орошения яблоневого сада на площади 341,48 га в ООО «Мускат» расположена в Майкопском районе Республики Адыгея на 2-ой террасе реки Белой. По схеме климатического районирования региона территория Майкопского района входит в третий агроклиматический район, который по температурному режиму характеризуется умеренно-континентальным климатом. Для данной местности характерно умеренное увлажнение, сравнительно теплая зима, короткая весна, жаркое лето, длительная теплая осень. Климат района характеризуется мягкой непродолжительной зимой, длительным безморозным периодом (191 день).

Среднегодовая температура воздуха около  $+10,7^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура самого холодного месяца – января равна  $-2,1^{\circ}\text{C}$  при абсолютном минимуме от  $33^{\circ}\text{C}$  до  $39^{\circ}\text{C}$ . В зимние месяцы отмечается довольно резкое колебание температур, выраженное следующими абсолютными величинами: январь  $+17^{\circ}\text{C}$ ,  $-39^{\circ}\text{C}$ ; февраль  $+25^{\circ}\text{C}$ ,  $-37^{\circ}\text{C}$ . Средний из абсолютных минимумов за год составляет  $-20^{\circ}\text{C}$ . Зима в районе умеренно мягкая со средней температурой от  $0,6^{\circ}\text{C}$  до  $2,1^{\circ}\text{C}$ , но в отдельные годы может быть суровой. Снежный покров крайне неустойчив. Для зимы характерны частые оттепели.

Самыми теплыми месяцами являются июль и август, со средней температурой воздуха  $+23,2^{\circ}\text{C}$ ,  $+22,4^{\circ}\text{C}$  соответственно (максимальная  $+40^{\circ}\text{C}$ , минимальная  $+10^{\circ}\text{C}$ ). Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 196 дней. Переход среднесуточных температур воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  весной (22/II) указывает на начало снеготаяния и разморзания почвы. Средней датой перехода суточных температур через  $+5^{\circ}\text{C}$  является 16 марта. Этот срок соответствует наступлению вегетации зимующих культур и началу полевых работ. Начало активной

вегетации большинства сельскохозяйственных культур приурочено к переходу среднесуточных температур воздуха через  $+10^{\circ}\text{C}$  (12/IV, 25/X).

Период со средней температурой выше  $15^{\circ}\text{C}$  (лето) начинается в первой декаде мая и заканчивается в третьей декаде сентября. Первые заморозки наступают в последних числах октября, весной после 10 апреля они, как правило, редкие, но иногда бывают и в первых числах мая, что отрицательно влияет на развитие теплолюбивых культур.

Сумма положительных температур (за период активной вегетации) свыше  $+10^{\circ}\text{C}$  составляет  $3560^{\circ}\text{C}$ . По теплообеспеченности район является жарким.

По количеству выпадающих осадков территория района относится к зоне умеренного увлажнения. По данным агроклиматического справочника по Краснодарскому краю среднегодовое количество осадков составляет 583 мм, около 65 % (378 мм) выпадает в теплый период года (апрель – октябрь) и 205 мм за холодный период (ноябрь – март). За период активной вегетации выпадает 417 мм осадков, испаряемость за указанный период колеблется от 427 до 610 мм.

В летний период осадки часто носят ливневый характер, что приводит к скоплению воды и временному переувлажнению верхних гумусовых горизонтов, подстилаемых слитыми горизонтами – водоупорами. Коэффициент увлажнения (КУ) по Селянинову для Майкопского района составляет 0,3–0,4 (умеренно-влажный климат).

В период с положительной среднесуточной температурой воздуха, который длится 10 месяцев, испарение преобладает над количеством выпадающих осадков, хотя в отдельные месяцы могут наблюдаться отклонения от нормы. Минимальные значения относительной влажности воздуха приурочены к июлю и августу (44–46 %), максимальные к январю (79 %). В период засухи влажность воздуха может уменьшаться до (25–30) %.

Преобладающими ветрами на территории района являются ветры восточного и северо-восточного направления. Эти ветры зимой сопровождаются похолоданием, летом – зноем.

Среднегодовое число дней с сильным ветром (больше 15 м/с) – 15, с суховеями средней интенсивности – 16. Сильные ветры на данной территории наблюдаются в конце осени и в начале весны. На долю восточных и западных ветров приходится 35 %, северо-восточных и юго-западных – 37 %.

В геоморфологическом отношении территория относится к нескольким геоморфологическим элементам: пойма реки Белая и правобережная I надпойменная терраса (I НПТ) реки Белая. Участок, относящийся к пойме реки Белая, находится на северо-западной окраине исследованного участка, и ограничен с запада руслом реки Белая, с востока склоном правобережной I НПТ реки Белая

Рельеф исследуемого участка равнинный, изрезанный руслами временных водотоков правобережного бассейна реки Белой. Абсолютные отметки местности в пределах поймы изменяются от 336,00 до 337,00 м, на бровке берегового уступа абсолютные отметки местности составляют 341,00–343,00 м. Уклон местности северо-западный, в сторону реки Белая.

Подземные воды на территории исследуемой площадки залегают на глубине от 2,40 м до 3,90 м, что соответствует абсолютным отметкам 357,50 – 367,00 мБс. Коллектором подземных вод первого водоносного горизонта служит галечниковый грунт (СГК-аллювиальный). Нижним водоупором служит коренная нижненеогеновая верхнесарматская морская глина, залегающая повсеместно под галечниковым грунтом. Область питания – инфильтрация атмосферных осадков, подпитка за счет утечек из водонесущих коммуникаций. Область разгрузки – река Белая. Направление потока подземных вод – северо-западное.

Почвенные условия на территории оросительной системы характеризуются наличием естественного почвогрунта на дренажном слое на глубине 0,8–1,2 м. Почвообразующие породы участка представлены аллювиальными суглинками и галечниками. Аллювиальные отложения формируются постоянными водными потоками в речных долинах. Гранулометрический и минеральный состав и структурно-текстурные особенности их сильно варьируют в зависимости от гидрологического режима рек, характера размываемых пород, водосбора и геоморфологических условий.

Источником орошения является река Белая. Ширина русла изменяется от 20 м в верхнем течении до 80 – 100 м в нижнем течении. Средняя глубина реки на всем протяжении около 1 метра, скорость течения достигает 2–3 м/с. Берега в предгорной и равнинной частях подвергаются размыву. В равнинной части русло крайне извилисто. Средняя глубина воды в русле составляет (0,8–1,2) м. По характеру питания Белая принадлежит к смешанному типу питания с преобладанием снегового, но со значительной долей дождевого. Доля грунтового питания невелика. В районе Майкопской гидроэлектростанции на долю стока от таяния ледников и снега приходится: около 20–30 % от годового; на долю дождевого – 50–60 %; грунтового – около 25 %. Водный режим характеризуется весенне-летним половодьем и осенне-зимней меженью, на которые накладываются дождевые паводки, проходящие в любое время года. Из-за частых дождевых паводков гидрограф реки Белой имеет гребенчатый вид (рисунок 2.1).

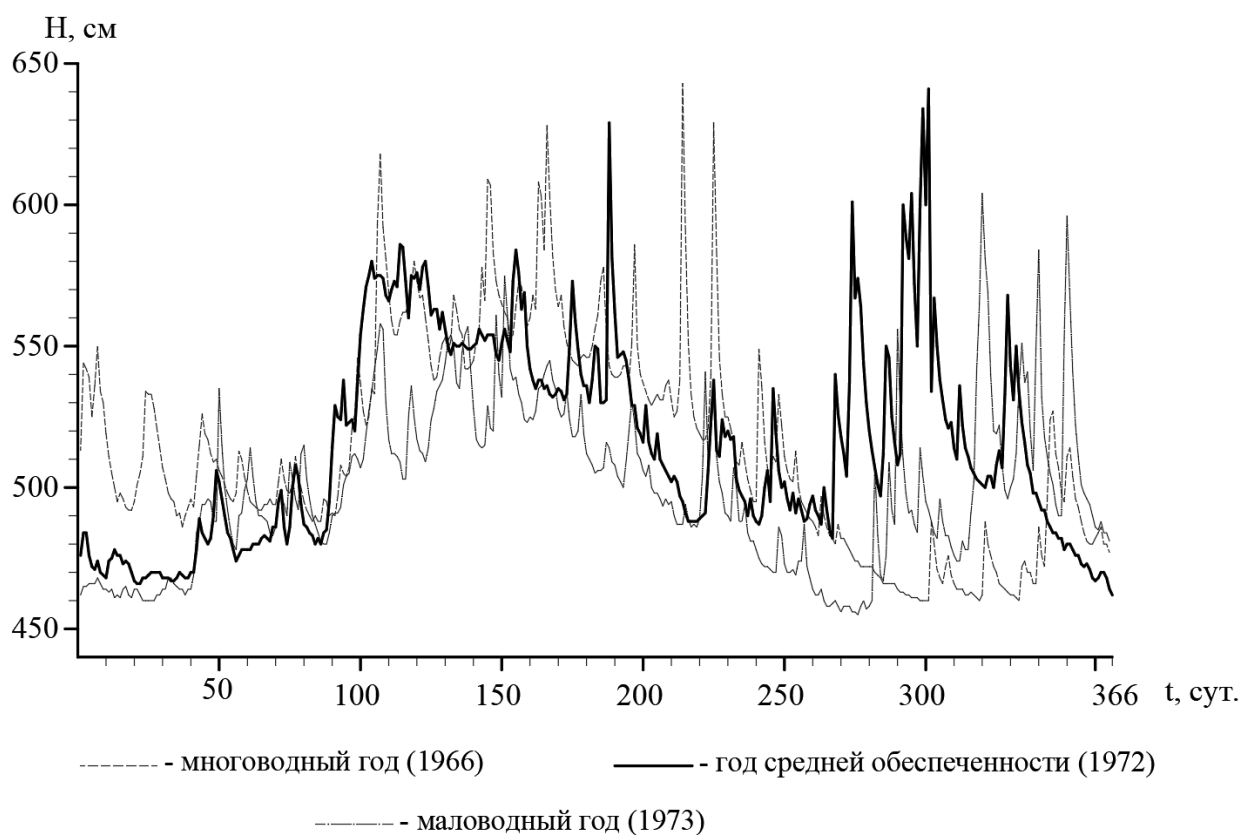


Рисунок 2.1 – Гидрограф реки Белая

Всего в году наблюдается от 15 до 18 дождевых паводков, но в отдельные годы их количество достигает 20 – 25. Продолжительность подъема и спада паводков от 3 до суток, а при их совмещении 10-15 суток.

Половодье, обычно, начинается в середине марта и продолжается до начала августа. По окончании половодья водный режим определяется выпадающими в бассейне дождями. Паводочный режим длится до второй половины декабря. Зимняя межень неустойчивая, часто прерывается дождевыми паводками. Минимальные уровни приходятся на декабрь или февраль. Годовая амплитуда колебания уровня достигает 3–4 м. Характерны заторно-зажорные явления, которые могут повышать уровни до 1 м. [4].

## 2.2 Разработка системы капельного орошения ООО «Мускат»

Проект системы капельного орошения в ООО «Мускат» разработан кафедрой гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского ГАУ для повышения водообеспеченности яблоневого сада для площади 341,48 га.

Разработана новая конструкция и способ забора воды фильтрующим водозаборным сооружением из горной реки Белая. Водозабор совмещен с насосной станцией 1-го подъема (НС 1). Дополнительно была разработана подкачивающая насосная станция 2-го подъема (НС 2) на пруду-накопителе для подачи воды в СКО. Пруд-накопитель служит буферной емкостью для снижения дефицита воды в межень [112, 114]. Принципиальная схема системы капельного орошения сада представлена на рисунке 2.2.

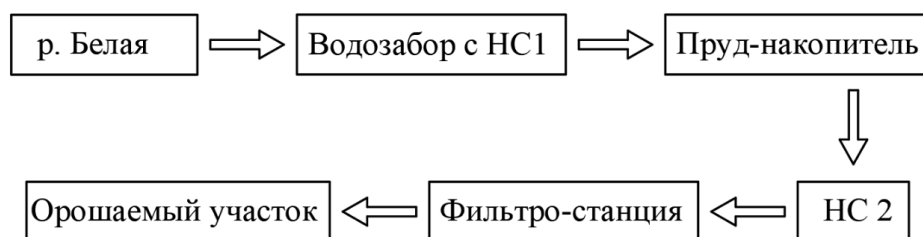


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема системы капельного орошения  
в ООО «Мускат» в Майкопском районе

На правом берегу реки устроено фильтрующее водозаборное сооружение (ФВС) с насосной станцией 1-го подъема. По напорному полиэтиленовому трубопроводу диаметром 315 мм вода НС1 подается в пруд-накопитель суточного регулирования объемом 20 тыс. м<sup>3</sup>. Из пруда посредством насосной станции 2-го подъема вода направляется по магистральному трубопроводу диаметром 250 мм на узел фильтрации, где происходит ее тонкая очистка для подачи в поливные трубопроводы. На поливных трубопроводах установлены капельницы, через которые вода поступает к деревьям яблонь.

Колодец для размещения НС1 глубиной 4,65 м устраивается из армированного бетона марки В35 прямоугольной формы размером в плане 2,9х2,6 м, что 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 два насоса *KSB KRTK 80-253/262 VEG-S* расходом насоса 150 м<sup>3</sup>/ч и напором 40 м.

Толщина стенок колодца рассчитана 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 рассчитан из уравнения неразрывности потока и принимается с 2-х 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 определен 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 из реки 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, то есть для каждого дерева устанавливается капельница на шпалере на высоте 30 см от поверхности почвы. Расстояние между капельницами принимается равным расстоянию между деревьями. При поливе на поверхности почвы может наблюдаться зона растекания воды с хорошо выраженным пятном увлажнения, так как почвы имеют средний и тяжелый механический состав. При дальнейшей подаче воды на ее поверхности проходит 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.

В почве сада в начале подачи воды капельницей происходит растекание по почве, а затем наблюдается напорная инфильтрация, при которой формируются контуры увлажнения. Гостищев Д. П. [48] и Ясониди О. Е. [118, 119], исследуя локальное орошение плодоягодных культур на Северном Кавказе, пришли к выводу, что локальность капельного орошения с соответствующими очагами увлажнения обусловлена особенностями техники полива. Ученые [77, 97, 101] считают, что к элементам техники капельного орошения относятся элементарная поливная норма, время ее выдачи, расход и количество капельниц в очаге.

Для очагового увлажнения Ясониди О. Е. [118, 119, 131] 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 [130, 135].

Для обоснования выбора конструкции мелиоративного водозаборного сооружения (МВС) разработаны основные технико-экономические показатели системы капельного орошения. В таблице 2.1 приводятся основные технико-экономические показатели СКО для выбора мелиоративного водозабора.

Таблица 2.1 – Основные проектные технико-экономические показатели системы капельного орошения

Наименование показателей	Параметры	Примечание
Культура	яблоня подвой М 9	сорт яблонь «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 реки Белой
Насосная станция 1, м <sup>3</sup> /ч	150	на берегу реки Белая
Пруд-накопитель, тыс. м <sup>3</sup>	20	фильтрационный экран из глины толщиной 30 см
Насосная станция 2, м <sup>3</sup> /ч	300	на берегу пруда-накопителя
Магистральный трубопровод Д=225 мм, м	530	материал – полиэтилен ПЭ 100
Станция очистки воды	механическая	песчаный фильтр из 8 кассет
Трубопроводная поливная сеть, м	32417	капельные линии
Поливной расход, м <sup>3</sup> /ч	300	подача 5-и насосов (максимальная)
Расход воды в систему КО, тыс.м <sup>3</sup>	1180,155	расход 75 % обеспеченности.

Данные технико-экономических показателей (табл. 2.1) использованы при разработке конструкции фильтрующего водозаборного сооружения и способа



забора воды из реки Белая для обеспечения устойчивой эксплуатации системы капельного орошения в ООО «Мускат».

### **2.3 Исследование качества оросительной воды**

В зонах недостаточного увлажнения становится важным вопрос добычи воды для орошения сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений, и особенно, это является актуальным для горных условий. Дефицит водных ресурсов обусловлен факторами, к которым относятся: трудность забора воды из горных рек, где уровни воды колеблются в широком диапазоне в течение вегетационного периода выращивания сельскохозяйственных культур; большие скорости потока в водном источнике; перемещение донных наносов, ограничивающее выбор адаптированной конструкции водозаборов.

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 Бондаренко В. Л. [27], Журба М. Г. [59-60] и др. [83, 92, 104, 116, 137] ученых, которые разработали методы оценки влияния воды на мелиоративное состояние почвы при поливе сельскохозяйственных культур.

Оценка пригодности воды из реки Белой в створе водозабора 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. Выполнение анализа проб воды выполнялась в аттестованной лаборатории ООО «РусИнтеКо» (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  
реки Белая в створе водозабора

№ 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
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 (табл. 2.2). Применяя методику Буданова М. Ф., получены данные качественного состава воды из реки 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 реки Белая высокого качества и пригодна для орошения интенсивных яблоневых садов. При проникновении в почву вода не вызовет отрицательных воздействий на макро-

микробиологическую почвенную биоту, засоления, осолонцевания, содообразования почв участка орошения.

При капельном орошении сада выполнялся контроль над мелиоративным режимом почв: водным, солевым, пищевым, воздушным и микробиологическим. 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 (табл. 2.1, (2.1-2.3) [18, 26, 74].

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

Для оценки мелиоративного состояния почвогрунта выполнены исследования по влиянию полива на почвенно-поглощающий комплекс (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 мелиоративного состояния почв при капельном орошении

№ 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

Данные таблицы 2.3 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 и не оказывает отрицательного влияния на мелиоративное состояние почв (МСП) [132, 133].

Река Белая во время паводков несет 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 жесткие 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:  $<1 \text{ мм}$  – 50 мкм,  $1\text{-}2 \text{ мм}$  – 70 мкм,  $>2 \text{ мм}$  – 100 мкм. Допустимые размеры гидробионтов в концентрации:  $5 \text{ мг/дм}^3$  –  $<50 \text{ мкм}$ ;  $10 \text{ мг/дм}^3$  –  $<100 \text{ мкм}$ ;  $15 \text{ мг/дм}^3$  –  $<150 \text{ мкм}$ .

Установлены основные требования к водозаборному сооружению в горных условиях по гидрохимическим показателям и степени действия на элементы системы капельного орошения (табл. 2.4).

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	528
2	рН	-	6-7	7-8	>8	6,5
3	Содержание марганца	мг/л	<0,1	0,1-1,5	>1,5	0,064
4	Содержание железа	мг/л	<0,2	0,2-1,5	>1,5	0,15
5	Содержание сероводорода	мг/л	<0,8	0,2-2,0	>2,0	0,78
6	Количество популяций, бактерий	мг/л	<10-10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> -5·10 <sup>6</sup>	>50·10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>
7	Карбонатно- бикарбонатные равновесия	лс	-0,5<1с<0,5	-0,5<1с>0,5	-0,3<1с>0,5	-0,5<1с<0,5
8	Допустимые скорости на водозаборе	м/с	<0,15	0,15-0,20	>0,2	0,2
9	Мутность во время паводка	г/м <sup>3</sup>	<100	300	600	650
10	Глубина	м	>1	0,5-1	<0,5	0,5-1

Из данных 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.

## **2.4 Лабораторные исследования движения и распределения влаги в почвогрунте на дренажном слое. Методика исследований**

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

Почвенный разрез служил для имитации слоя почвогрунта в натуральных условиях [89, 90]. Под почвой участка залегает водопроницаемый гравелистый грунт, так как участок расположен на 2-ой террасе реки Белой.

Для определения влажности слоев почвы применялся 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. Выбор наиболее подходящего режима влагомера основан на интегральной оценке, для которой выполнен сравнительный анализ измерения влажности ВИМС-1У с зондовым датчиком и термостатно-весовым способом (ТВС), рассчитаны отклонения при использовании в качестве исследуемого материала песок и грунт, привезенный с опытного участка. Построены графики (рисунок 2.3 и 2.4) зависимости номеров образцов и соответствующих им среднеквадратичные отклонения.

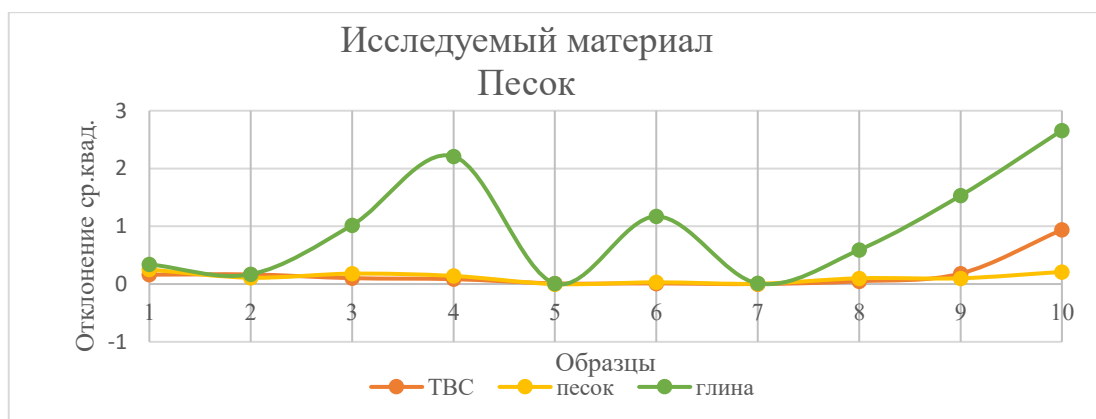


Рисунок 2.3 – График зависимости среднеквадратичных отклонений для песка

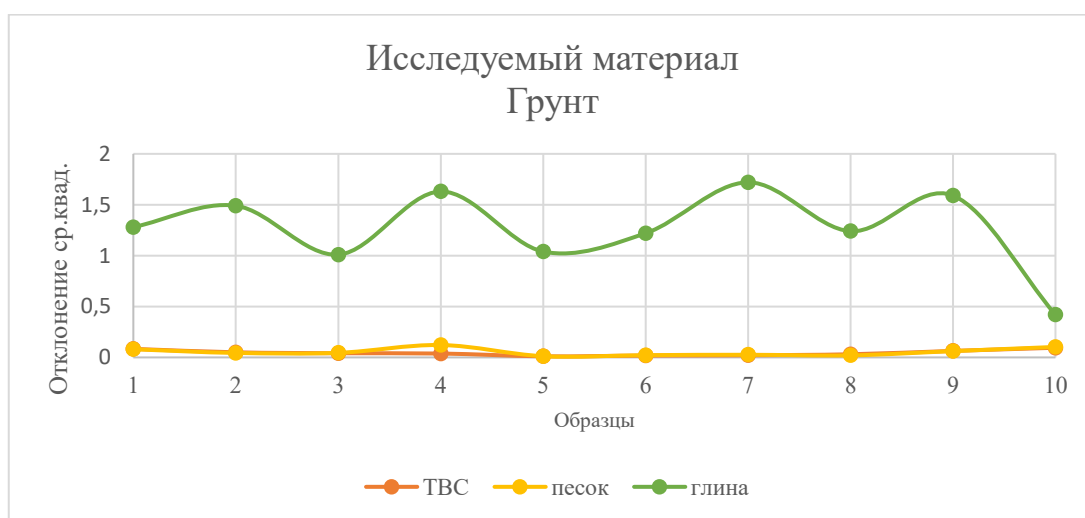


Рисунок 2.4 – График зависимости среднеквадратичных отклонений для грунта

Графики наглядно показывают, как влияет режим влагомера ВИМС-1У на конечные измерения влажности и подтверждают возможность применения ВИМС-1У с зондовым датчиком при режиме «Песок».

Для описания модели движения влаги использовали закон Дарси и исследования Л. Ричардса [136], которые установили передвижение почвенной влаги в прямо пропорциональной зависимости от абсолютной влажности самой почвы, а также структуры подстилающих слоев. Исследовались закономерности распространения влаги в слоях почвогрунта под действием гравитационных сил от инфильтрационного потока, создаваемого расходом капельниц [82, 84, 126].

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 и с.-х. водоснабжения Кубанского ГАУ на лизиметрической установке, модели почвогрунта, доставленном с опытного поля ООО «Мускат» (рисунок 2.5).

Опытная установка представляет собой 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.



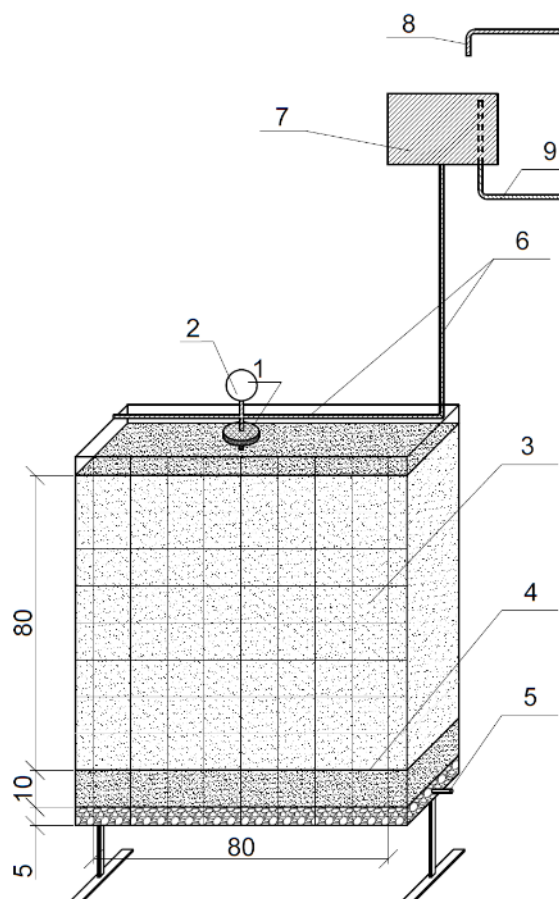
Рисунок 2.5 – Лабораторная установка с почвогрунтом

На установке имитируется полив разреза почвогрунта, который был доставлен с опытного поля. Модель разреза выполнена послойно, на дне слой гравия толщиной 0,1 м, далее идет крупный песок слоем 0,1 м и над песком уложен исследуемый почвогрунт.

Толщина промачиваемого слоя почвогрунта составляла 0,8 м, где по мнению ученого Ясониди О. Е. [119] 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.



1 – капельница, 2 – манометр, 3 – слой грунта, 4 – гравийно-песчаная подушка, 5 – дренаж, 6 – трубопроводы, 7- напорная емкость, 8-подающий трубопровод, 9-переливной трубопровод.

Рисунок 2.6 – 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 электронным С-01 Интеграл с классом точности 0,01 с. 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 [11, 85].

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 подавалась вода расходом 2,5 л/ч, который был установлен опытным путем ранее для орошения яблонь и особенностей природно-климатической зоны района исследований (рисунок 2.7).

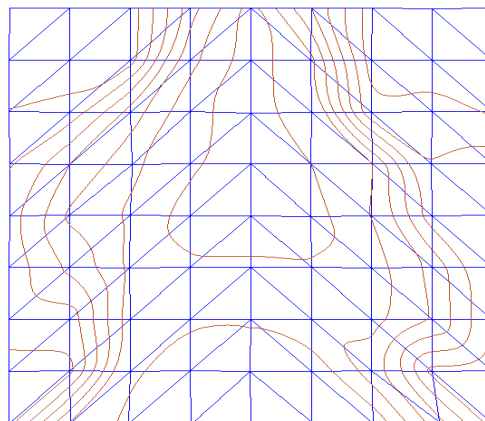


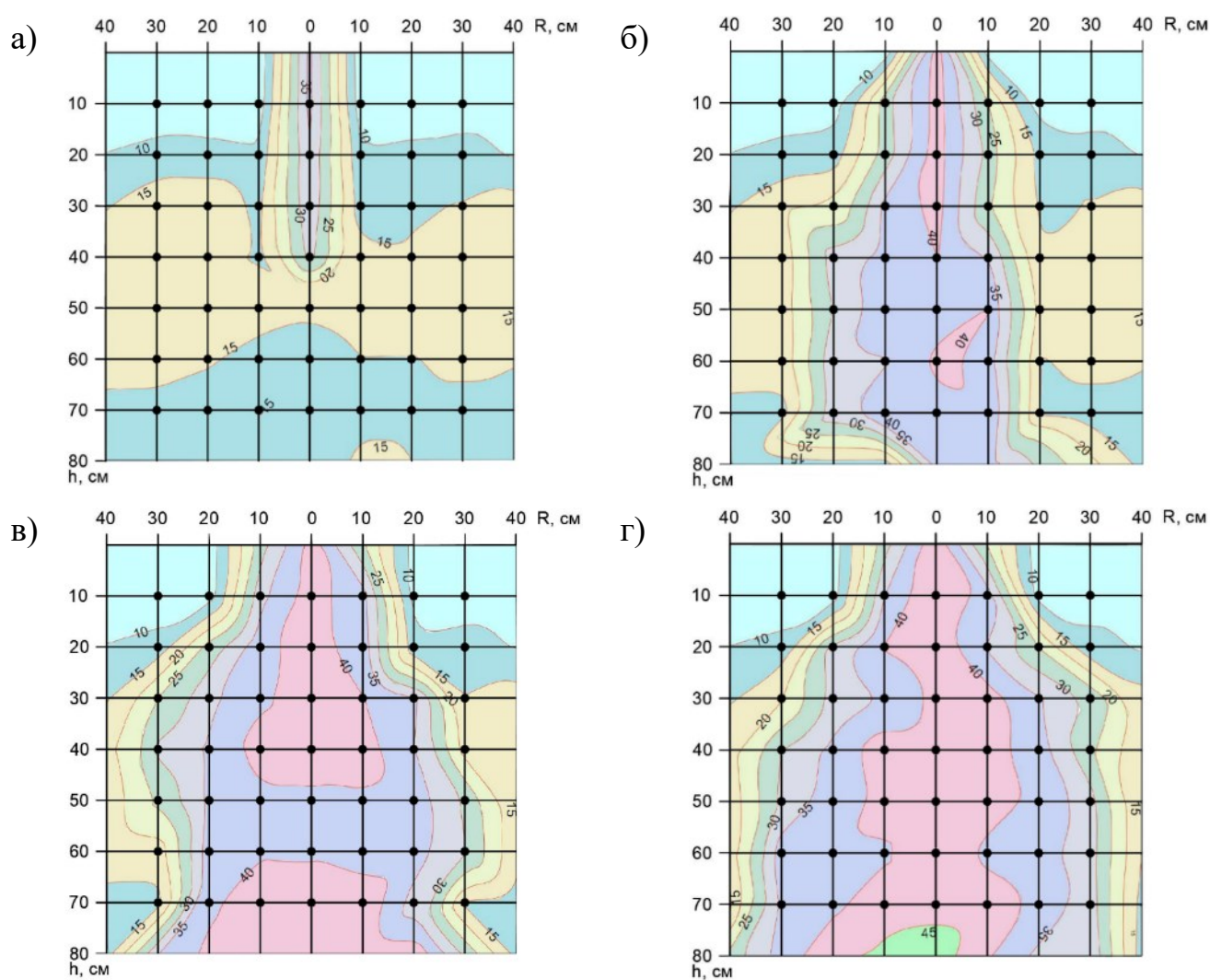
Рисунок 2.7– Схема контура увлажнения на 8-й час полива

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 проводились по картограммам на базе эмпирических данных по влажности в различные интервалы времени с использованием метода триангуляции в каждом квадрате (рисунок 2.7). 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* (лицензия №70-00025Ф от 19.12.12). Обработка измерений проверялась в комплексе *STATISTICA* на персональном компьютере методом множественной регрессии. Данный метод наиболее подходит для подгонки линии, описывающей изменение исследуемых параметров, по набору точек полученных по результатам опытов.

На рисунке 2.8 (а, б, в, г) даются схемы изолиний для почвогрунта по времени.



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

Рисунок 2.8 – Картограммы влажности в почвогрунте  
на дренажном слое

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

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.

Каждый час измерялись площади контуров увлажнения и линейные изменения радиусов распространения с шагом 5 %. Для этого использовались полученные эмпирическим путем картограммы (рисунок 2.6) распределения влажности в почвенном лизиметре, выполнение по принципу палетки в AutoCAD.

На рисунке 2.9 приводятся результаты изменения предельной влажности объема почвогрунта для 10 часов подачи расхода, капельницей 2,5 л/ч.

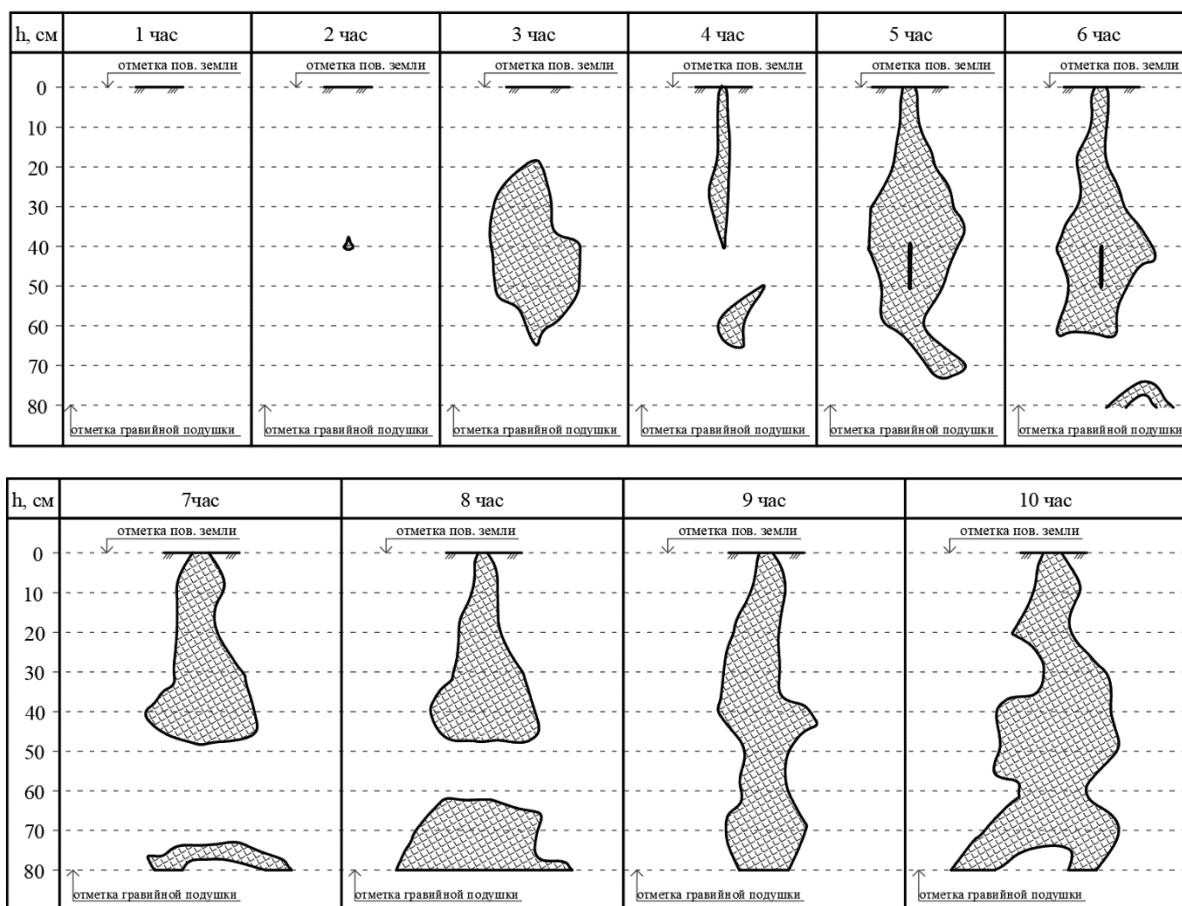


Рисунок 2.9 – Результат оцифровки измерений во времени  
предельной влажности 40 %

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 дает возможность проследить изменение линейных характеристик увлажнения для определения объема влажного контура. За основу расчета принята модель контура увлажнения на дренажном слое толщиной 0,8 м, преобразованная в равновеликий цилиндрический объем.

В результате обработки опытных данных установлена средневзвешенная влажность в контурах увлажнения от времени полива (рисунок 2.10).

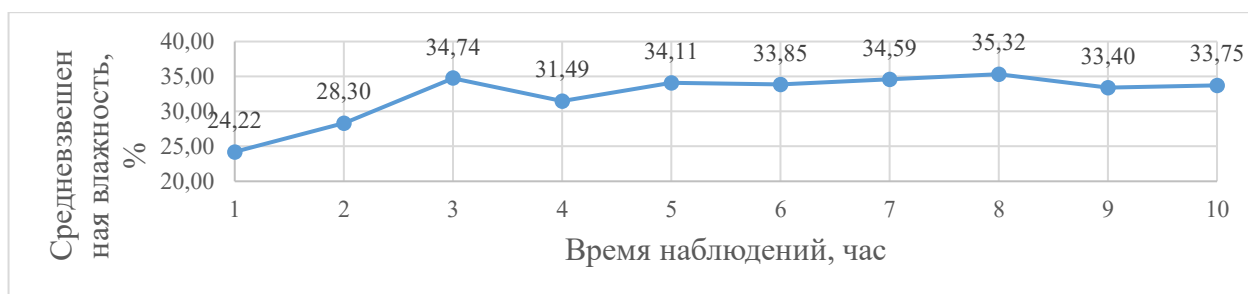


Рисунок 2.10 – Изменение средневзвешенной влажности почвогрунта по времени

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 от 33 до 35 % (рисунок 2.9).

Исследования по объему и времени дают закономерность изменения влажности в толще (0–0,8) м почвогрунта на дренажном слое, которые представлены на рисунке 2.11.

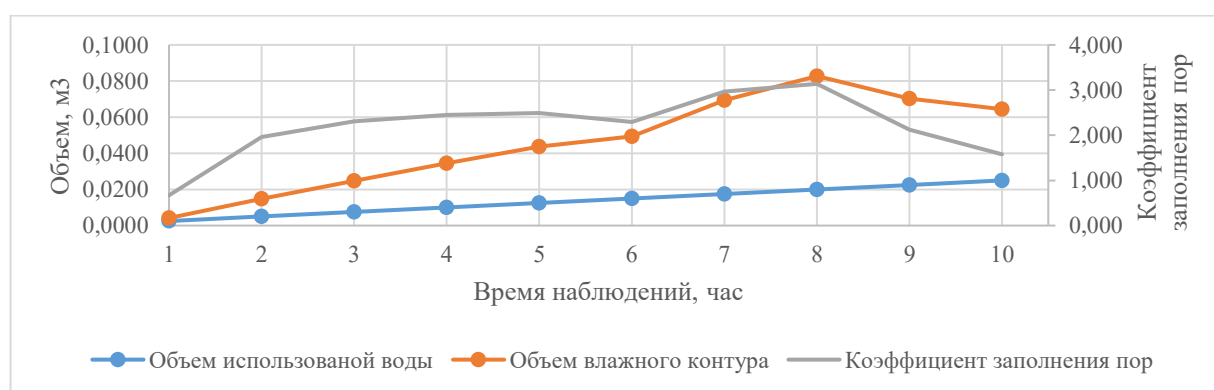


Рисунок 2.11 – Закономерность изменения объемов влажного грунта

Интегральный объем поданной воды установлен арифметическим суммированием норм полива в течение 10 часов (рисунок 2.11). Объем контура увлажнения при расчете включает сумму образованных цилиндрических объемов, рассчитанных на глубину из схем картограмм (рисунок 2.9).

Отношение объема контура увлажнения к объему поданной в почвогрунт воды на расчетный час наблюдений обозначим через коэффициент заполнения пор ( $K_v$ ).

Динамика изменения объемов контура увлажнения и  $K_v$  показывают, что после 8-го часа эффективность полива снижается, при этом объем воды возрастает, что видно из графика (рисунок 2.11).

Выполнена математическая обработка опытных данных 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 получена зависимость распределения расхода воды внутри почвенного слоя, движения влаги под действием гравитационных сил по направлению к дренажному слою и за счет свободных пор в горизонтальной плоскости (рисунок 2.9).

Объем смоченного грунта необходимо учитывать в течение 8 часов, что послужило основанием для анализа с помощью описательной статистики, а именно с помощью регрессии, при этом выявлена зависимость распределения расхода воды внутри почвогрунта.

Применяя регрессию статистику к полученным данным опыта, через  $X_1$  – обозначен объем контура,  $X_2$  – коэффициент заполнения пор,  $X_3$  – площадь контура увлажнения,  $Y$  – расход воды проведенный анализ описательной статистики в таблице 2.6.



Таблица 2.6 – Результаты описательной статистики

Переменные	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 (табл. 2.7) показывает, на основе коэффициентов корреляции, зависимость между парами переменных, корреляция имеет сильную прямую связь, т.к. стремится к «+1».

Таблица 2.7 – Результаты корреляционного анализа

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

Исключив зависимую X2, получаем таблицу 2.8, данные которой характеризуют 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



Продолжение таблицы 2.8

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 (табл. 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

Параметр	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			

Факторы	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 «Р-Значение» для X3 более 5 % и имеет высокий риск ошибки первого рода, что ведет за собой исключение из анализа т.к. он потенциально не является статистически значимым. Далее приводим матрицу факторов к виду к функции полинома 2-й степени. 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)	Объем влажного контура, м <sup>6</sup> , (X1) <sup>2</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч, (Y)
1	0,0017	0,00000289	0,0025
2	0,0098	0,00009604	0,005
3	0,0173	0,00029929	0,0075
4	0,0245	0,00060025	0,01
5	0,0311	0,00096721	0,0125
6	0,0344	0,00118336	0,015
7	0,0519	0,00269361	0,0175
8	0,0627	0,00393129	0,02

Регрессионная статистика факторов таблицы 2.10 показала: множественный коэффициент  $R = 0,994$ ;  $R^2 = 0,987$ ; нормированный  $R^2 = 0,983$ ; при стандартной ошибке  $= 0,0008$ .

Таблица 2.11 – Дисперсионный анализ

Параметр	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	0,000259309	0,000129655	203,174977	1,62891E-05
Остаток	5	3,19071E-06	6,38143E-07		
Итого	7	0,0002625			

Фактор	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	0,0013	0,000738315	1,755674158	0,139498684
X1	0,4279	0,053208469	8,042713853	0,000480748
X1 <sup>2</sup>	-2,0720	0,786606882	-2,634049704	0,046306776

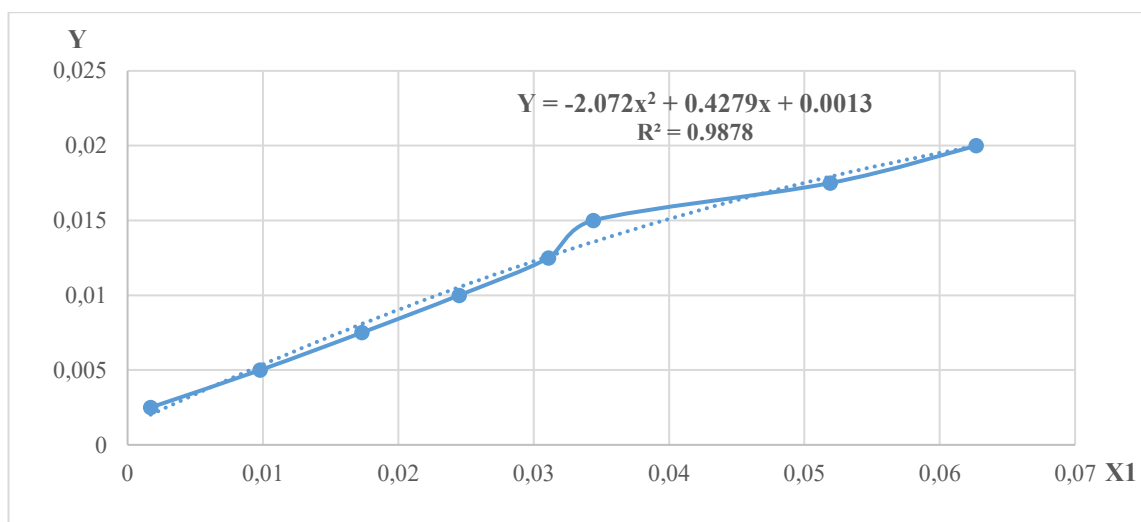
На основе таблицы 2.11, при анализе по значениям «Значимость F» и «P-Значение», получена закономерность движения влаги в почвогрунте на дренажном слое:

$$Y = -2,072x^2 + 0,4279x + 0,0013, \quad (2.4)$$

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

$x$  - объем влажного контура, м<sup>3</sup>.

Зависимость получена на основании таблицы 2.11 и основана на расчетных коэффициентах, при которых стандартная ошибка составляет менее 5 %. Наилучшее предсказание зависимой переменной X1 выражает линия регрессии, для получения предсказуемой ее траектории построен график (рисунок 2.12).

Рисунок 2.12 – График зависимости  $Y=f(X1)$ 

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	0,0020	19%	0,000482249
2	0,0053	6%	-0,000291065
3	0,0081	8%	-0,000579493
4	0,0105	5%	-0,000537087
5	0,0126	1%	-0,000101167
6	0,0136	10%	0,001434484
7	0,0179	2%	-0,000425295
8	0,0200	0%	1,73734E-05

При поливе почвогрунта изменяется водно-воздушный режим слоя толщиной 0,8 м, процесс движения влаги происходит с вытеснение воздуха из пор по закономерности (2.4), что отражено в таблице 2.12, где ошибка в первые 2 часа связана с порозностью сухого грунта, которая поглощает подаваемый расход воды, что отражается на рисунке 2.13 (фото выполнено в первые 20 минут с начала полива).



Рисунок 2.13 – Полив через 20 минут первого часа

Очаг от подачи воды из капельницы формируется в виде блюдца на поверхности почвогрунта с образованием кратера. Ошибка, соответствующая шестому часу опыта, отражает достижение контура увлажнения дренажного слоя модели при влажности 40 %.

Закономерность движения влаги в почвогрунте (2.4) является достоверной и может использоваться для расчета расхода воды при капельном орошении на почвогрунтах, имеющих дренажный слой, в горных условиях.

## **Выводы по разделу 2**

1. Разработаны технико-экономические показатели при реконструкции системы капельного орошения в ООО «Мускат», которые служат для определения способа забора воды из реки Белая для обеспечения устойчивой эксплуатации системы капельного орошения и разработки конструктивно-технологических параметров водозаборного сооружения.

2. Исследование качества воды в поверхностном водном источнике для системы капельного орошения выявили, что вода пригодна для орошения. Однако, 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 отстойниками.

3. Получена закономерность движения влаги в почвогрунте на дренажном слое, залегающим на глубине 0,8 м. Это позволило разработать наилучшее влияния объема контура на поливную норму яблоневого сада.

4. При выполнении лабораторного исследования движения и распределения влаги при капельном орошении для почвогрунта толщиной 0,8 м на дренажном слое рекомендуется проводить полив яблонь не более 8 часов при влажности 0,7-0,8 НВ.

5. Получена закономерность (2.4), основанная на множественной регрессии, движения влаги в почвогрунте в слое 0,8 м на дренажном слое.

### **3 МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА КОНСТРУКЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНЫХ РЕК**

#### **3.1 Обзор критериев, влияющих на выбор типа конструкции мелиоративного водозабора**

Для разработки методики выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для сложных гидрологических условий необходимо выделить основные критерии, анализ которых позволит систематизировать процесс выбора оптимальной конструкции водозабора на основе объективных данных.

К основным критериям, влияющим на выбор конструкции мелиоративного водозабора, можно отнести природные, антропогенные и экологические факторы.

К природным факторам относятся: гидрологические характеристики водного источника; геолого-морфологические условия района исследований;

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 м, 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 2.1.

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 до 15–18 шт. в год, хотя в некоторые годы их число может увеличиваться и достигать 20–25 шт. в год.

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 м.

Забор воды из реки Белая для СКО ООО «Мускат» осуществляется у станции Абадзехской Республики Адыгея Майкопского района с координатами в системе WGS-84 44°22'23,56" с.ш. и 40°11'55,52" в.д. русла реки (рисунок 3.1).

В месте расположения водозаборного устройства наблюдений по стоку не проводилось, поэтому были выполнены гидрометеорологические изыскания.

За ближайшую станцию наблюдений был принят гидрометрический пост у п. Каменноостский, расположенный на 180 км от устья реки на наиболее близком расстоянии к расчетному створу: высший уровень реки – 486 м (20.04.2015 г), низший уровень реки – 300 м (20.10.2015 г).

Морфология на исследуемом участке реки имеет важное значение для обоснования выбора конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения [129].



Рисунок 3.1– Створ водозаборного сооружения для СКО

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 3.2 представлен геологический разрез в месте устройства водозабора.

№ ИГЭ	Геологический индекс	Протяженность слоя, м		Мощность слоя	Абсолютная отметка подошвы слоя	Геолого - литологический разрез	Глубина отбора образцов	Наименование пород и их характеристика
		От	До					
3	$mN_{1s}^3$	0,00	8,00	8,00	328,90			Глина синовато-серая, в кровле полутвердая, с глубины 4,50-5,00 м твердая, аргиллитоподобная, переуплотненная, тонкослойная

Рисунок 3.2 – 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 входят в 4 группу по разработке землеройными машинами согласно ГЭСН 81-02-Пр-2001. При строительстве водозаборного сооружения в русле реки необходимо учитывать геологические, морфологические и гидрологические условия в условиях горной местности.

Сток взвешенных наносов реки Белая в естественном виде 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 месяце (таблица 3.1).

Таблица 3.1– Данные по стоку наносов реки Белая

Река - пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Сток взвешенных наносов, млн. т.	Сток влекомых наносов, млн. т	Суммарный сток, млн. т
р. Белая – х. Северный	5790	0,95	0,11	1,06

В гранулометрическом составе взвешенных наносов преобладают фракции < 0,1 мм (80 %), в составе влекомых наносов преобладают фракции > 10 мм (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			Характеристики 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	Месяцы												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
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 месяцы, на которые приходится 50-60 % годового объема стока. В этом периоде особенно высокая водность наблюдается в мае. С другой стороны, наименьшей водностью, 20-25 % от годового стока, отличается осенне-зимний период.

Гидрологические условия горных рек оказывают большое влияние на захватывающую способность воды в системы орошения, и в том числе – системы капельного орошения [123].

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

Установлено, что выбранный участок на реке Белая для размещения мелиоративного водозаборного сооружения в СКО имеет ряд преимуществ в гидрологическом плане, так как располагается на правом берегу, где наблюдается набегаящий поток от левого берега на место размещения водозабора от ее поворота.

Режим наносов в реке определяет конструкцию водозаборного сооружения и тип фильтра. Размер наносов зависит от транспортирующей способности потока, стока реки. Объем взвешенных наносов составляет 0,95 млн. 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 от 5 до 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

Антропогенные факторы, такие как строительство плотин, дамб, и изменение категории использования земель, оказывают серьезное воздействие на поток реки. Изменение движения воды в источнике 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.

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 изменения положения уровня грунтовых вод. Подземные воды являются важным источником пресной воды, и их изменение может привести 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 [58, 107]. Понимание этих воздействий необходимо для разработки научно обоснованных и устойчивых стратегий управления водными ресурсами.

Учитывая вышеописанные факторы, водозаборное сооружение на реке Белой размещается так, чтобы набегающий поток не размывал русло, так как на этом участке создаются касательные скорости вдоль правого берега за счет потока фарватера, который прижимается к правому берегу за счет поворота реки на участке (рисунок 3.4). Фарватер располагается в 12 м от места водозабора.

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 естественную 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.



Рисунок 3.4 – Схема размещения забора воды из реки Белая для СКО

Наиболее напряженным периодом является меженный период, согласно гидрографу реки Белой, показанному на рисунке 2.1, 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. С другой стороны, во время паводков, которые в гористых районах могут быть краткосрочными 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).

Приоритетом при заборе воды на мелиоративные нужды из поверхностных водных источников является защита гидробионтов на водозаборном сооружении [94, 128]. Определена величина потерь водных биоресурсов определена с учетом

максимального воздействия неблагоприятных факторов, возникающих при отборе воды из реки Белая.

Ущерб 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 местообитания; 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.

Последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния, согласно Методики утвержденной Приказом Федерального агентства по рыболовству от 06.05.2020 № 238. Определение потерь водных биоресурсов при заборе воды из водного объекта рыбохозяйственного значения от гибели кормовых организмов зоопланктона выполняется по формуле 3.1.

$$N = B \cdot \left(1 + \frac{P}{B}\right) \cdot W \cdot K_E \cdot \left(\frac{K_3}{100}\right) \cdot d \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

где В – средняя многолетняя для данного сезона (сезонов, года) величина общей биомассы коревых планктонных организмов, г/м<sup>3</sup>;

Р/В – сезонный или средний сезонны за год коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов;

W – объем воды, в зоне воздействия, в котором прогнозируется гибель комовых планктонных организмов, м<sup>3</sup>;

K<sub>E</sub>– коэффициент эффективности использования пищи на рост;

$K_3$  – средняя для данной экосистемы и сезона доля использования кормовой базы, %;

$d$  – степень воздействия или доля гибнущих организмов от их общего количества в долях единицы;

$10^{-3}$  – множитель для перевода граммов в кг.

Таблица 3.4 – Расчет потерь водных биоресурсов вследствие гибели зоопланктона

$B, \text{г/м}^3$	$1 + P/B$	$W, \text{м}^3$	$K_E$	$K_3/100$	$d$	$10^{-3}$	$N, \text{кг}$
0,25	19	803000	1/11	0,5	1	0,001	173,375
Итого							173,38

Потери водных биоресурсов от гибели фитопланктона при использовании водных ресурсов водного объекта (заборе воды, работе перекачивающих насосов, турбин гидроэлектростанций и других гидротехнических сооружений) следует определять при наличии в водном объекте рыб, питающихся фитопланктоном, с учетом средних суточных объемов водозабора ( $W_{\text{сут}}$ ) суточного Р/В-коэффициента для соответствующего сезона или сезонов по формуле 3.2:

$$N = B \cdot \left(1 + \frac{P}{B_{\text{сут}}}\right) \cdot W_{\text{сут}} \cdot t_{\text{сут}} \cdot K_E \cdot \left(\frac{K_3}{100}\right) \cdot d \cdot 10^{-3}, \quad (3.2)$$

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

$P/B_{\text{сут}}$  – средний суточный продукционный коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в и продукцию, характерны для сезона (сезонов) года в период производства работ;

$W_{\text{сут}}$  – средний суточный объем используемых водных ресурсов,  $\text{м}^3$ ;

$t_{\text{сут}}$  – продолжительность забора воды, сутки;

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост;

$K_3$  – средняя для данной экосистемы и сезона доля использования кормовой базы, %;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

$d$  – степень воздействия или доля гибнущих организмов от их общего количества в долях единицы;

$10^{-3}$  – показатель перевода граммов в кг.

При неравномерном за период воздействия водозаборе в расчетной формуле 3.2 вместо произведения ( $W_{\text{сут}} \cdot t_{\text{сут}}$ ), равного суммарному объему водозабора ( $W$  вр.), должна применяться сумма суточных объемов забора воды ( $W_{\text{вр.}} = \sum W_{\text{сут.i}}$ ).

Значение суточного продукционного коэффициента фитопланктона 0,88 получено делением годового продукционного коэффициента на число дней вегетационного периода фитопланктона в районе проведения работ (365 сут.), т.к. полного промерзания воды в р. Белая не наблюдается (водоток находится в районе с высокими среднегодовыми температурами), и вегетация, по данным многочисленных исследований, возможна круглый год.

$$P/B = 150 / 365 = 0,41.$$

Таблица 3.5 – Расчет потерь водных биоресурсов вследствие гибели фитопланктона

$B, \text{г/м}^3$	$1 + P/B_{\text{сут}}$	$\sum W_{\text{сут.i}}$	$K_E$	$K_3/100$	$d$	$10^{-3}$	$N, \text{кг}$
0,17	1,41	803000	1/40	0,1	1	0,001	0,48120
Итого							0,48

Размер вреда от гибели ихтиопланктона (пелагической икры, личинок и ранней молоди менее 12 мм), для которого эффективность рыбозащитного устройства не определяется и равна нулю (при заборе воды, работе перекачивающих насосов, турбин гидроэлектростанций и других гидротехнических сооружений), следует рассчитывать по формуле:

$$N = n_{nu} \cdot W_{\text{в.р.}} \cdot \frac{K_1}{100} \cdot p \cdot \Theta \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$



где  $N$  – потери (размер вреда) водных биоресурсов, килограммы или тонн;

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

$W_{в.р.}$  – объем используемых водных ресурсов за расчетный период, в котором прогнозируется гибель икры, личинок или ранней молоди видов водных биоресурсов, м<sup>3</sup>;

$K_1$  – величина пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), в %, которая определяется в соответствии с приложением № 2 к приказу Минсельхоза России № 167, в случае отсутствия в приложении № 2 к приказу Минсельхоза России № 167 коэффициента  $K_1$  допускается принимать значения коэффициента  $K_1$  по результатам современных и ранее полученных гидробиологических наблюдений (исследований), опубликованных в рецензируемых научных изданиях;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

$p$  – средняя масса одной воспроизводимой особи рыб или других объектов воспроизводства в промысловом возврате, которая определяется исходя из соотношения самок и самцов 1:1, килограмм;

$\Theta$  – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления (до исходной численности, биомассы) теряемых водных биоресурсов;

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

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

Величину повышающего коэффициента ( $\Theta$ ), учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления

теряемых водных биоресурсов до исходной численности, биомассы, их кормовой базы (кормовой бентос), площадей зимовки, продуктивности нерестилищ (в том числе пойменных), общей рыбопродуктивности поймы, исходных характеристик водосборного бассейна, влияющих на водный сток с поверхности водосборного бассейна и общую рыбопродуктивность водных объектов, следует определять по формуле:

$$\Theta = T + \sum K_{B(t=i)}, \quad (3.4)$$

где  $\Theta$  – величина повышающего коэффициента;

$T$  – показатель длительности негативного воздействия, в течение которого невозможно или не происходит восстановление водных биоресурсов и их кормовой базы в результате нарушения условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов, должен определяться количеством лет и (или) в долях года, принятого за единицу (как отношение  $n$  суток/365), вычисляться с точностью до второго знака после запятой;

$\sum K_{B(t=i)}$  – коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов, определяемый как  $K_{t=i} = 0,5i$ , где  $i$  равно числу лет с даты прекращения негативного воздействия.

В случае, если последствия негативного воздействия носят постоянный характер, коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов ( $\sum K_{B(t=i)}$ ) равен нулю, а коэффициент ( $\Theta$ ) следует учитывать и принимать равным показателю ( $T$ ).

Длительность восстановления с даты прекращения негативного воздействия ( $i$  лет) для бентосных кормовых организмов и нерестового субстрата составляет 3 года. Для рыб, донных беспозвоночных и их иктиопланктона (икра, личинки, ранняя молодь) с многолетним жизненным циклом, которые являются объектами (добычи) вылова, длительность восстановления их запаса должна приравниваться к среднему возрасту достижения ими половой зрелости.

Таблица 3.6 – Потери рыбопродукции в результате гибели ихтиопланктона  
при заборе воды

Вид	Стадия развития	$n_1$ , шт./м <sup>3</sup>	W, м <sup>3</sup>	$K_1/100$	$P_i$ , кг	$\Theta$	Потери ВБР, кг
Чехонь	икра	0,008	1180155	0,0002	0,150	2,75	0,7789
Итого							0,78

Выполненные расчеты показали, что потеря кормовых организмов в количестве 173,38 кг – значительный ущерб для рыб, питающихся зоопланктоном. Потери фитопланктона составили 0,48 кг, что менее значимо, чем для зоопланктона, но все же требует учета, особенно для рыб-фитофагов. Для чехони потери составили 0,78 кг, при  $\Theta=2,75$  длительность восстановления общей рыбопродуктивности поймы требует усиления мер защиты. Это обуславливает разработку водозаборного сооружения, снижающего возможный ущерб биоресурсам.

### 3.2 Обоснование рисков для выбора типа мелиоративного водозаборного сооружения на основе природных и антропогенных факторов

Эксплуатация мелиоративного водозаборного сооружения (МВС) 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 – реки Белой, который во время вегетационного периода культур чередуется максимальными паводками и меженью;

- риски, связанные с качеством и количеством захвата воды водозаборным сооружением при максимальных и минимальных уровнях;

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

- риск остановки гидромеханического оборудования и его поломки при недостаточных уровнях в реке;

- режим наносов, риск разрушения или заиления водозабора.

Риски при эксплуатации водозабора от воздействия антропогенных факторов:

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

- конструктивная защита от наносов, риск прекращения подачи воды из-за 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;

Из вышеприведенного следует, что при эксплуатации мелиоративных водозаборных сооружений необходимо просчитывать и учитывать риски, основным из которых является возможность подачи воды необходимого качества и количества в систему капельного орошения [65, 66].

Учитывая нестабильность природных факторов в горных условиях, в основу разработки методики рисков положен интегральный показатель рисков (ИПР) [80], включающий набор частных рисков природного и антропогенного факторов. По ИПР выполняется оценка основных типов водозаборных сооружений для горных условий. К которым относятся: фильтрующие, ковшовые, траншейные водозаборы и комбинированные водозаборы, включающие элементы фильтрации в ковшах или траншеях.

Для выбора типа мелиоративного водозаборного сооружения для горных условий принимается энергетический метод оценки [3, 42, 134]. 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:

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

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:

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

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  $k = \text{const}$ , 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 разработке методики выбора конструкции мелиоративного водозаборного сооружения по рискам подачи воды в СКО опирались на исследования ученых Голованова А. И. [43-45], Айдарова И. П. [6, 7], Гумбарова А. Д. [56], Васильева С. М. [37, 38], Панковой Т. А. [88].

Ниже приведена последовательность этапов выбора конструкции МВС при эксплуатации в горных условиях:

1. Ожидание рисков от природных и антропогенных факторов, где формируются необходимые и достаточные риски для устойчивого развития МВС 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 МВС на адекватность. Для решения задачи применяется нахождение нормы векторов тока из Гельдеровой нормы  $n$ -мерных векторов.

#### 4. Модернизация и оптимизация факторной бальной 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 МВС.

Интенсивность энергии в живом сечении для МВС 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  $x$ -векторного пространства.

Норму вектора (элементарного живого сечения) можно определять из Гельдеровой 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  $x$ -векторного пространства.

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



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

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

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

$$R_{\text{МВ}} \leq R_{\text{КР}} \quad ,$$

где  $R_{\min}$  – параметр, отвечающий минимуму рисков эксплуатации мелиоративного водозабора;

$R_{\text{КР}}$  – параметр критического состояния эксплуатации мелиоративного водозабора, выше которого система разрушается.

Математическое выражение (3.17) является моделью устойчивой эксплуатации мелиоративного водозабора. С помощью модели (3.17) выполняется выбор типа и оценка МВС по рискам от природных и антропогенных факторов.

С учетом (3.16) из (3.17) получается окончательное математическое выражение для модели устойчивой эксплуатации мелиоративного водозабора:

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

Из (3.18) 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 (3.18) 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 (3.19) считается ресурсной, так как выражает математическую зависимость интегрального показателя ресурса от природных и антропогенных факторов, выраженных в безразмерных индикаторах частных рисков в количественных и качественных показателях системы.

### 3.3 Разработка факторной бальной шкалы

При выборе предпочтительной конструкции МВС принимали участие 25 экспертов, каждый из которых заполнял таблицу 3.5. Воздействие факторов на ресурсы учитывались по ресурсной модели (3.17), а окончательная обработка данных проводилась по формуле (3.18). Количество факторов может иметь не ограниченное число, но при оценке МВС достаточны только те значения основных факторов, которые отражают действительное состояние МВС для забора воды из горной реки [64, 65].

В факторной бальной шкале принята градация оценок по 4 баллам (табл. 3.1). Каждой оценке соответствует диапазон баллов по частному риску МВС, рассматриваемой конструкции. Оценка выбора МВС для конкретных условий

эксплуатации дается 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 факторной балльной шкалы на основе интегрального показателя риска учитывались частные риски различных факторов, воздействующих на мелиоративные водозаборы.

Для системы капельного орошения рассматриваются четыре типа мелиоративных водозаборов, конструкции которых могут эксплуатироваться в условиях горных рек:

- МВС1 – русловое водозаборное сооружение (РВС);
- МВС2 – водозаборное сооружение ковшового типа (КВ);
- МВС3 – водозаборное сооружение траншейного типа (ТВ);
- МВС4 – фильтрующее водозаборное сооружение (ФВС).

При эксплуатации МВС учитываются природные и антропогенные факторы, которые оказывают влияние на захват воды из источника, прочность и устойчивость конструкции, 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 МВС с учетом природных и антропогенных факторов.

Выбор типа водозаборного сооружения выполнен, согласно этапам, представленным на рисунке 3.5, на основании разработанной факторной балльной шкалы (табл. 3.7).

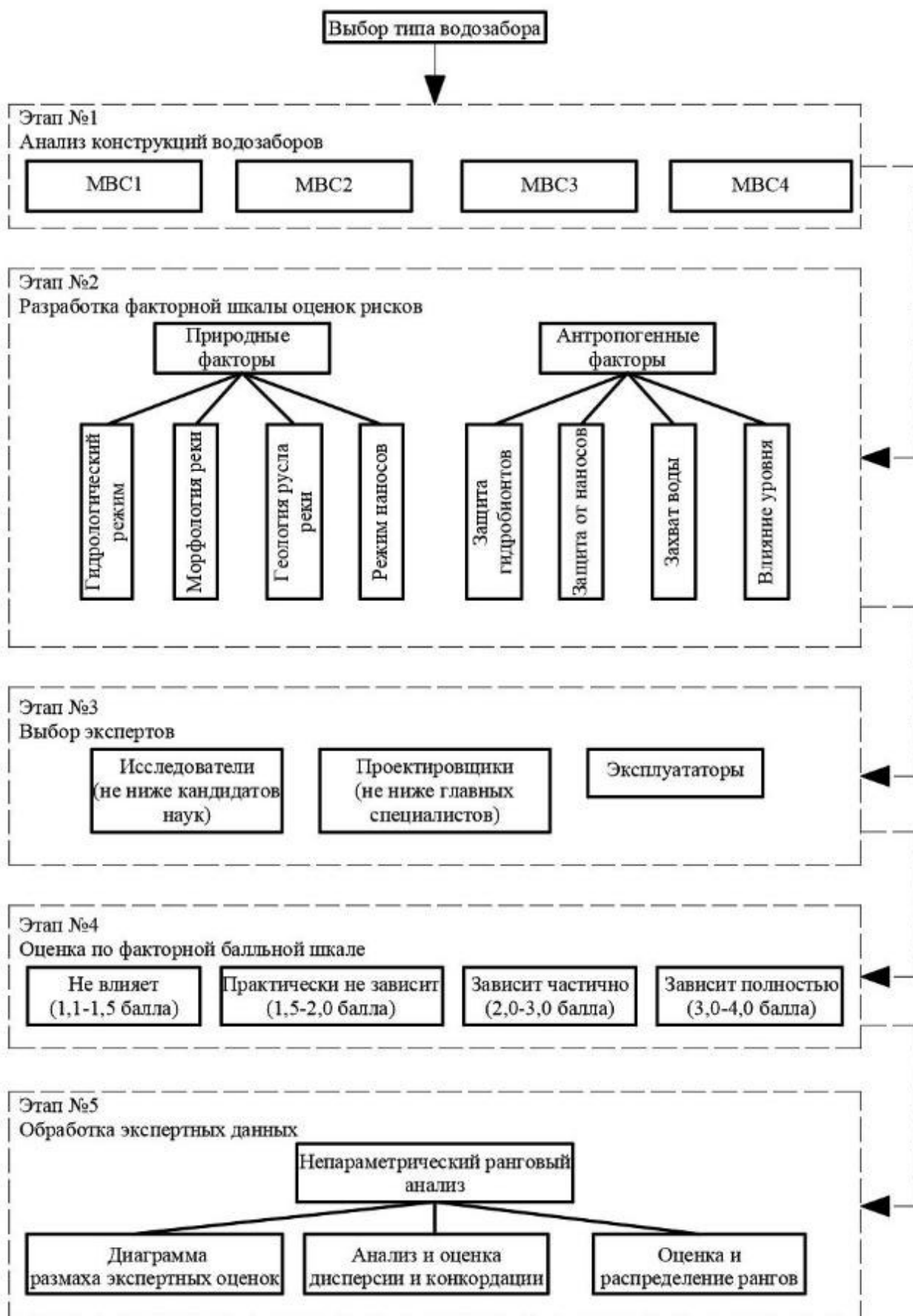


Рисунок 3.5 – Этапы выбора мелиоративного водозаборного сооружения

Таблица 3.7 – Факторная бальная шкала выбора МВС эксперта по реке Белая

Экспертная оценка по индикаторам риска	Диапазон индикатора	Мелиоративные водозаборы			
		МВС1	МВС2	МВС3	МВС4
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
<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:

$$R_i = (\sum n_i) / N , \quad (3.20)$$

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

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.

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 3.8

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 МВС4 – фильтрующего, включающего элементы ковша и фильтра.

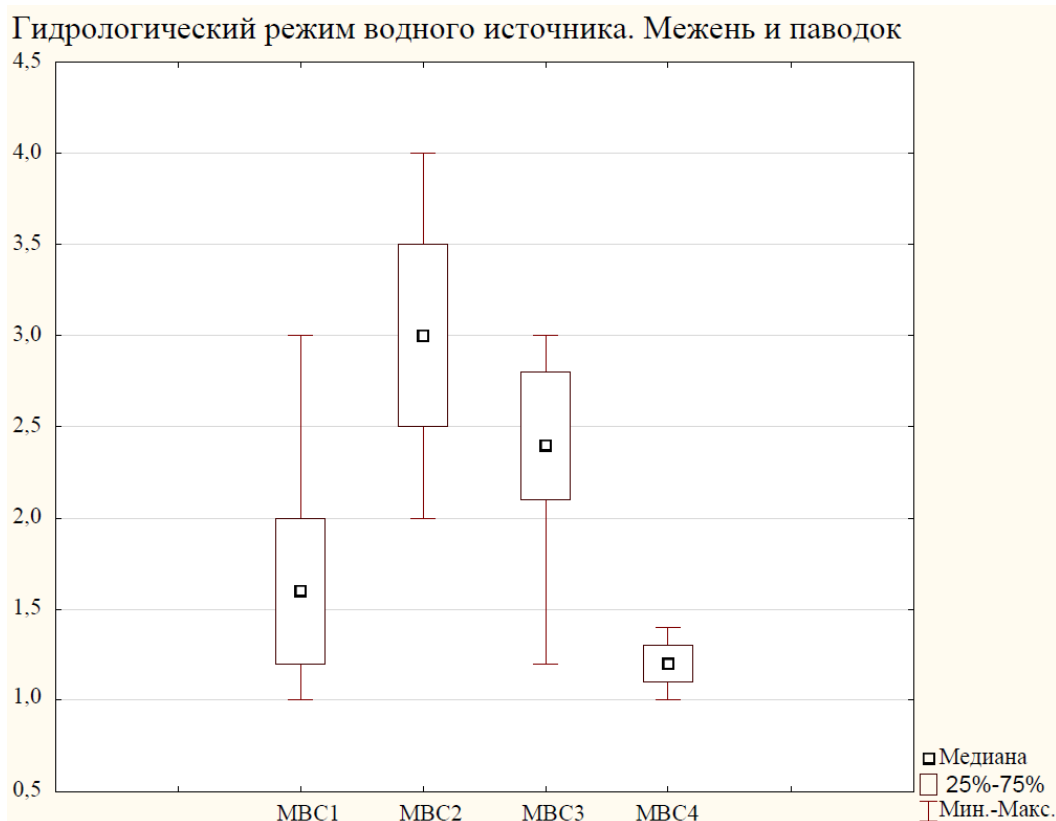


Рисунок 3.6 – Диаграмма размаха фактора

Таблица 3.8 – 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
MBC4	1,260000	31,50000	1,200000	0,147196
MBC1	2,000000	50,00000	1,600000	0,528362
MBC3	3,040000	76,00000	2,400000	0,498331
MBC2	3,700000	92,50000	3,000000	0,577350

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

По данным таблицы 3.6 получены графики влияния факторов на риски эксплуатации различных типов МВС, которые наиболее адаптированы к горным условиям, где расположены СКО. На рисунке 3.7 представлен график

интегральных рисков  $R_{MBi}$  для 4-х типов МВС в зависимости от основных природных и антропогенных факторов.

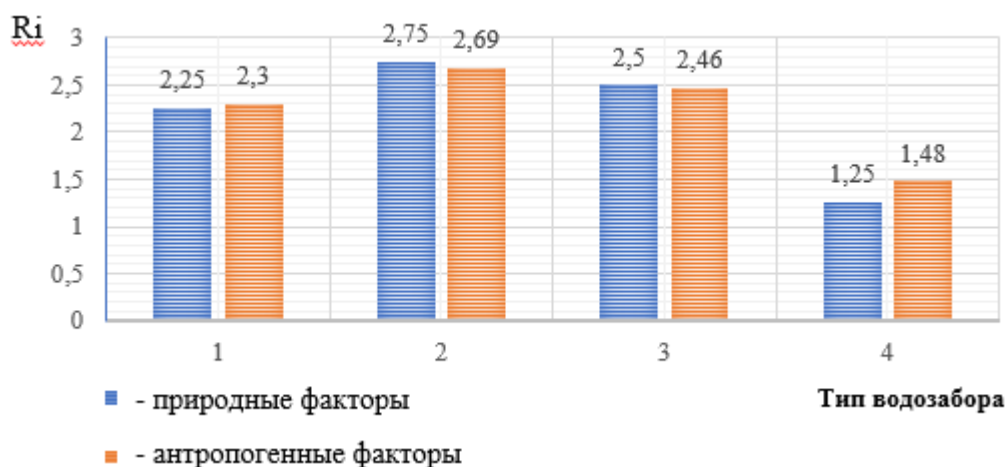


Рисунок 3.7 – Интегральные риски эксплуатации МВС отдельно от природных и антропогенных факторов

Результаты исследования показывают, что наиболее адаптированным по интегральному показателю рисков  $R_{MB}$  является фильтрующее водозаборное сооружение (ФВС). Данная конструкции водозабора адаптирована к условиям реки Белая, она учитывает природные, антропогенные и экологические факторы, на которые опираются при выборе конструкции водозаборного сооружения. Конструкция ФВС защищает от наносов, фильтрация – предотвращает гибель гидробионтов, при этом получено –  $R_{MB} = 1,25$ .

Ковшовый водозабор МВС2 применить сложно на данном участке, но при другом геологическом строении русла реки его использование возможно.

Водозаборы МВС2 и МВС3 применять не рекомендуется, так как  $R_{MB} > 2,0$ .

Данные рисунка 3.6 доказывают, что природные и антропогенные факторы не равнозначны. Это показывают риски МВС1, где природные факторы имеют  $R_{MB} = 2,25 > 2,0$ . Поэтому, при интегральном  $R_{MB} < 2,0$ , водозаборное сооружение МВС1 для эксплуатации в горной части реки Белой не пригоден. Следовательно, интегральные отдельные риски МВС служат дополнительной информацией для



выбора конструктивных особенностей водозаборных сооружений в сложных природных условиях, в частности горных регионов.

Разработанная методика выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения по факторной бальной шкале на основе интегрального показателя риска позволяет решить сложную задачу обеспечить устойчивую эксплуатацию системы капельного орошения, обеспечивая требуемое качество и количество воды из источника водоснабжения.

### **Выводы по разделу 3**

1. Устойчивость мелиоративного водозаборного сооружения определяется гидрологическим режимом реки, на который оказывает влияние извилистость русла, перекаты и уклоны участков источника, донные и взвешенные наносы. Скорости потока на фарватере реки Белая достигают 2,0-2,2 м/с, а набегающие скорости к МВС – 1,2-1,3 м/с. В этих условиях необходимо обеспечивать защиту водозаборного сооружения от размыва и отложений наносов на фильтре. Поэтому, захватывающую фильтрующую часть необходимо выполнять таким образом, чтобы она обеспечивала требуемый забор воды при любом гидрологическом режиме реки (паводок - межень).

2. Выполнена модернизации интегрального показателя риска, который имитирует зависимость состояния ресурса от природных и антропогенных факторов, выраженных безразмерными индикаторами в количественных и качественных показателях частных рисков, на мелиоративном водозаборном сооружении и описывается выражением (3.19).

3. Математическая зависимость (3.19) применяется для определения устойчивой эксплуатации системы: водный источник, мелиоративный водозабор, трубопроводная сеть, растение; и обоснованного выбора адаптированного мелиоративного водозабора по  $R_{\text{МВ}} < 2,0$ , что позволяет модель (3.19) считать ресурсной, так как она описывается непрерывным векторным полем скоростей потока.

4. Обоснована методика выбора конструкции мелиоративного водозаборного сооружения для сложных гидрологических условий горных рек, в основе которой разработана факторная балльная шкала на основе интегрального индикатора риска, служащей для определения устойчивости эксплуатации мелиоративного водозаборного сооружения по  $R_{MB}$ .

5. Доказано, что фильтрующее водозаборное сооружение (МВС4) имеет наименьшие риски при эксплуатации, которые не превышают критическую величину  $R_{кр}$ , то есть обеспечивается устойчивость эксплуатации системы по рискам, так как  $R_{MB} = 1,375 < 2,0$  и данная конструкция является оптимальной для использования на горных реках.

## 4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

### 4.1 Методика расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения

Для оптимизации водопользования при эксплуатации систем капельного орошения на горном агроландшафте при захвате воды фильтрующими водозаборными сооружениями встает вопрос проектирования основных элементов фильтрующей части сооружения, от параметров которых зависит качество и количество воды, забираемое в систему мелиорации [108 - 110, 115].

Разработана методика расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения, включающая расчет водоприемного ковша и перфорированного трубопровода для промывки фильтрующей части [68, 122].

*Водоприемный ковш.* Предназначается для захвата воды из реки в достаточном количестве и необходимом качестве. Ковш выполняется в виде прямоугольной траншеи с необходимыми геометрическими параметрами для размещения фильтрующего перфорированного трубопровода (ФПТ) и железобетонного упора для устойчивости конструкции. Расход притока в траншею ковша определяется из формулы Дюпюи [39]:

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

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:

$$\Omega = b \cdot l, \quad (4.2)$$

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 расхода для СКО, которые обеспечивают захват расхода с двухкратным запасом. Данный запас  $q$  принимается из условия засорения фильтра взвешенными наносами при заборе воды из реки при эксплуатации МВС. 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, то есть  $Q = q = const$ , где  $Q$  – приток воды к ФПТ через фильтр, м<sup>3</sup>/с и  $q$  – расход воды, который захватывается ковшом из реки, м<sup>3</sup>/с, следовательно, длина ковша находится из уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \quad (4.3)$$

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

Для расхода  $q$  используется формула захвата воды из реки ковшом (4.1) и формула расхода жидкости при истечении из отверстий перфорации ФПТ, которая для данного случая имеет вид:

$$Q = \mu n \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z}, \quad (4.4)$$

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 (4.3) и формулы (4.4), получим:

$$\Omega \cdot u_{\phi} = \mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z} . \quad (4.5)$$

где  $\Omega = b \cdot l$ , м<sup>2</sup>.

Откуда следует:

$$l = \frac{\mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g \cdot Z}}{b \cdot u_{\phi}} . \quad (4.6)$$

Длина ковша зависит от гидравлического перепада уровней, скорости фильтрации и сопротивления на фильтре.

Из формулы (4.6), следует:

$$l = A (\mu \cdot \sqrt{Z} / u_{\phi}) \quad (4.7)$$

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 (4.7) следует графическое решение для определения длины ковша в зависимости от снижения сопротивления фильтра за счет его засорения взвешенными наносами. При  $n = 3000$  шт,  $\omega_{\text{оме}} = 0,0000165$  м<sup>2</sup>,  $Z = 1,0$  м,  $b = 2,65$  м,  $A = 0,10$  (рисунок 4.1).

Результаты расчета фильтра по формуле (4.7) показаны на графике (рисунок 4.1), из которого видно, что с увеличением сопротивления фильтра, которое отражается уменьшением скоростей фильтрации, длина его возрастает с 1,65 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.

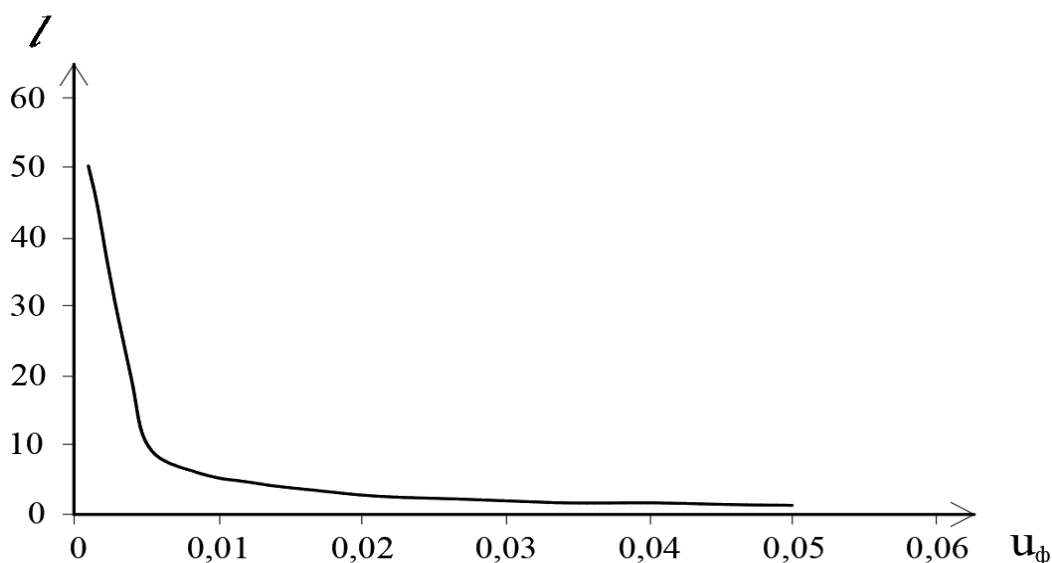


Рисунок 4.1 – Длина ковша в зависимости от скорости  $u_{\phi}$  при  $\mu = 0,5$

#### *Перфорированный трубопровод для промывки фильтрующей части.*

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 реки Белая принимается 3-х слойный обратный фильтр. Для обсыпки трубы принимаются слои гравия сверху вниз траншеи: рваный камень 300-600 мм; гравий 100-150 мм; 50-100 мм; труба 500 мм; гравий 50-100 мм. Верхний слой рассчитывается из условий не размывающих скоростей [62].

Диаметр трубы ФПТ находится по формуле:

$$D = (1,1-1,2) \cdot Q^{0,5}. \quad (4.8)$$

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

Диаметр принимается из условия не заиляющих скоростей потока в ПТ.

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

Расход воды из реки через перфорацию будет определяться по формуле:

$$Q = \mu n \omega_{\text{пер}} \sqrt{2gZ}, \quad (4.9)$$

где  $Q$  – расход воды через фильтр, м<sup>3</sup>/с;

$\mu$  – коэффициент расхода песчано-гравийного фильтра;

$n$  – отверстий на ВПТ;

$\omega_{\text{пер}}$  – площадь перфорации, м<sup>2</sup>;

$Z$  – 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:

$$Z = h_{\text{min}} + h, \quad (4.10)$$

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 влияние на молодь рыб. Скорость на входе в ковш  $V_{вх}$  должна быть меньше критической  $V_{кр}$  для молоди рыб:  $V_{вх} < V_{кр}$ , где  $V_{кр} = 0,2$  м/с.

*Количество отверстий на ПП.*

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

Площадь перфорации определяется по формуле:

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

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.

## **4.2 Лабораторные исследования конструкции фильтрующего водозаборного сооружения**

*Моделирование конструктивно-технологических параметров новой конструкции водозаборного сооружения.*

При моделировании конструктивно-технологических параметров новой конструкции водозаборного сооружения применялось гидравлическое подобие явлений в натуре и на физической модели, выполненной в лаборатории кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского ГАУ. Исследование опиралось на то, что две гидравлические системы водозабора геометрически подобны, если сходственные размеры натуре и модели имеют постоянные соотношения [5, 40].

Принимаем  $a_i$  – масштаб длин, тогда соответствующие масштабы площадей



$a_i^2$  и объемов, будут  $a_i^3$ :

$$\frac{l_M}{l_H} a_i = \text{const}; \quad (4.11)$$

$$\frac{\omega_M}{\omega_H} = a_i^2; \quad (4.12)$$

$$\frac{W_M}{W_H} = a_i^3, \quad (4.13)$$

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 4.2 даны основные геометрические размеры характеристик природы и модели фильтрующего водозаборного сооружения.

Кинематическое подобие конструкции водозабора достигается сходственными траекториями движениями частиц и скоростями в сходственных точках связаны постоянными гидравлическими соотношениями (табл. 4.1).



Рисунок 4.2 – Основные геометрические размеры фильтрующего водозаборного сооружения натуры и модели

Таблица 4.1 – Данные кинематического подоби́я

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 водозаборного сооружения 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:

$$\frac{F_M}{F_H} = \frac{Re_M}{Re_H} = \frac{\lambda_M}{\lambda_H} = \frac{C_M}{C_H} = 1 = const \quad (4.14)$$

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

*Исследование пропускной способности конструкции.*

Исследование проводилось на экспериментальной установке в лаборатории кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского ГАУ на модели проекта сооружения масштабом 1:10 (рисунки 4.3, 4.4).

Целью лабораторных исследований являлось изучение возможности подать требуемый расчетный расход в систему капельного орошения сада.

Исследование на модели проводилось при расходе воды  $Q = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что соответствует скорректированному расходу насосной станции для модели. При этом глубина контролировалась при помощи сливного трубопровода (рисунок 4.4 а).

В исследовании на модели укладывались трубы с расчетной площадью перфорации (рисунок 4.4 б).

В приемный резервуар подавалась вода с помощью насоса, после чего поток протекал над траншеей с постоянным уровнем, что имитирует створ в реке (рисунок 4.4 в), в котором размещается водозаборное сооружение.



Рисунок 4.3 – Выполнение опыта на экспериментальной установке

а)



б)



в)



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

Рисунок 4.4 – Экспериментальная установка

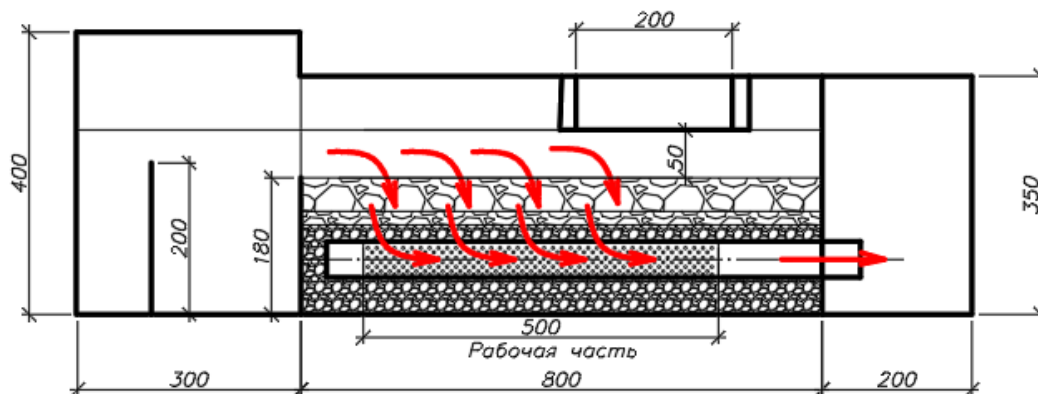


Рисунок 4.5 – Динамическая схема движения воды в модели

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 объемно весовым способом (рисунок 4.5).

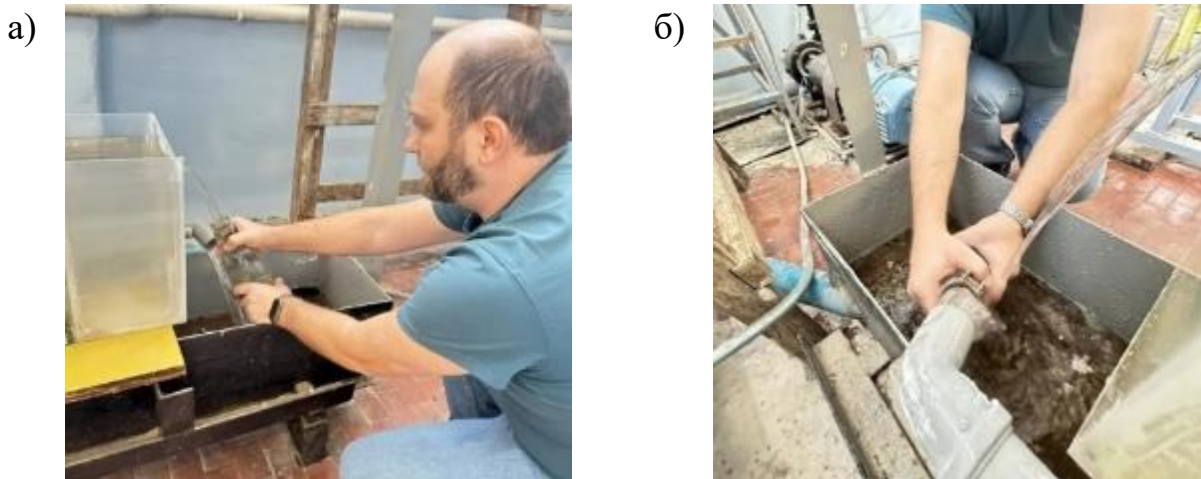
Опыты выполнялись в 30-ти кратной повторности, для определения расхода использовалась мерная емкость в виде минзурки, выполненной по ГОСТ 1770-74, время измерялось эталонным секундомером. Определена погрешность при измерениях, которая составила 1,23 %, что допустимо при измерениях согласно ГОСТ Р 51657.2-2000.

#### 4.3 Лабораторные исследования мутности потока. Методика исследований

Мутность воды является одним из важнейших показателей качества воды, характеризующим содержание в ней взвешенных частиц различного происхождения. В разделе 2 приводится результат определения качества воды по гидрохимическим показателям (таблица 2.4), из которого следует наличие мутности во время паводка составляющую  $650 \text{ г/м}^3$ . На основании этого необходимо проверить модель водозаборного сооружения на экспериментальной установке на пропуск через фильтр взвешенных частиц.

Методика исследования разработана с учетом требований нормативных документов (ГОСТ 5180-84, РД 52.08.104-2002) и рекомендаций опытной практики гидрологических исследований. Выполняется измерение мутности на модели водозабора с использованием батометра и прибора для фильтрации Куприна, измерения в потоке выполняются через переливную и рабочую трубы. Работы выполнены поэтапно: подготовительный, измерение мутности, расчет мутности, обработка результатов.

Для создания взвеси использовался натурный грунт, отобранный из прибрежной зоны реки Белой, характеризующейся высоким содержанием песчано-глинистых частиц, который измельчается методом сухого растирания до состояния пудры. Полученная смесь была тщательно перемешана и введена в лабораторную модель. Важным аспектом данного этапа было обеспечение однородности распределения частиц в воде, что достигалось с помощью интенсивного перемешивания и регулировки скорости потока. Контроль за содержанием взвешенных частиц производился через стенки модели, так как они выполнены из стекла, который позволял проводить непрерывный мониторинг.



а – отбор воды через фильтр; б – отбор воды через переливную трубу

Рисунок 4.6 – Отбор проб батометром

Вторым этапом исследований стало забор проб воды из русла, имитирующего основной поток, проходящий через гравийный фильтр (рисунок 4.6, а) и



переливной трубопровод обеспечивающий отбор воды из верхних слоев потока, где концентрация взвешенных наносов, как правило, выше (рисунок 4.6, б). Пробы отбирались батометром-бутылкой объемом 1 л.

Завершающим этапом исследования стало выполнение фильтрации образцов с помощью прибора Куприна ГР-60 (рисунок 4.7), что позволяет отделить взвешенные наносы от воды.



Рисунок 4.7 – Фильтрация образцов с помощью прибора Куприна ГР-60

Для этого использовались предварительно взвешенные бумажные фильтры. Пробы воды, отобранные из русла и подруслового водозабора, пропускались через фильтр с помощью ручного насоса, что обеспечивало равномерное распределение частиц по поверхности фильтра рисунок 4.8 и 4.9.

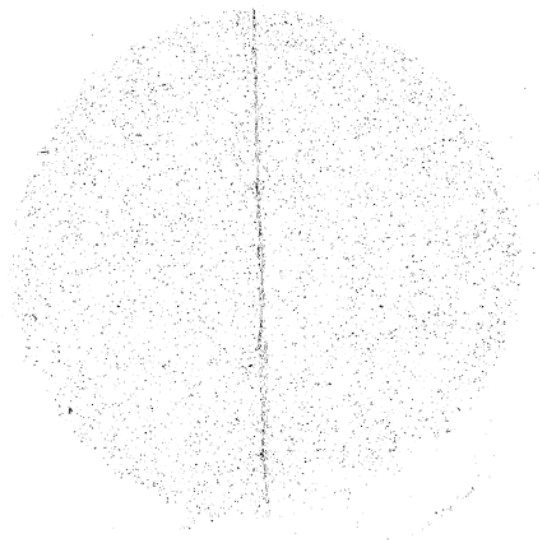
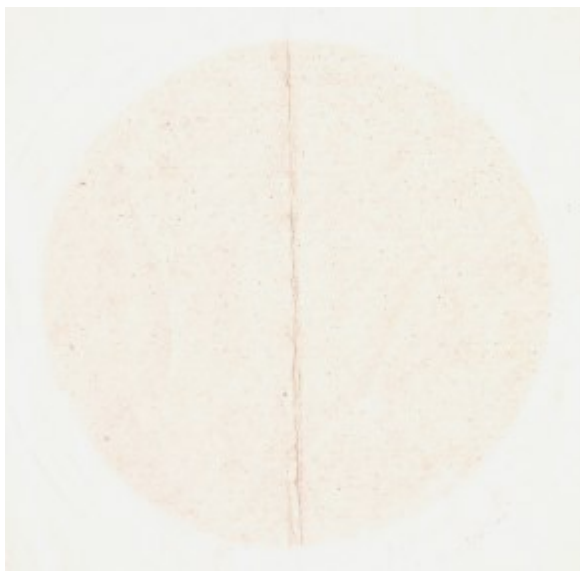


Рисунок 4.8 – Фильтр после сушки из русла, имитирующего основной поток

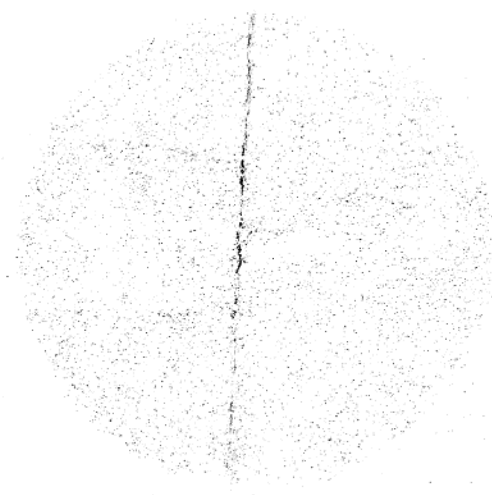
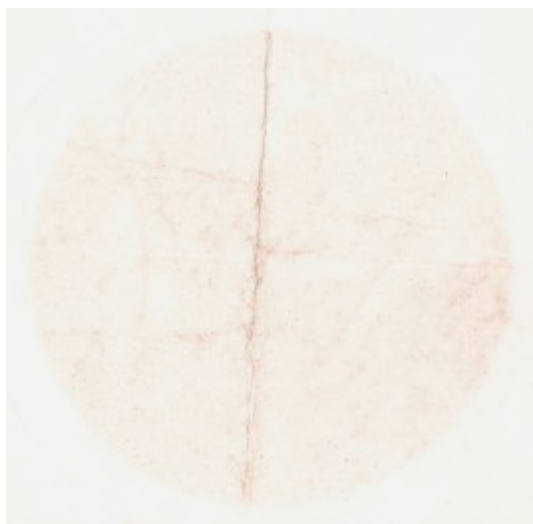


Рисунок 4.9 – Фильтр после сушки, из верхних слоев потока

После работы фильтры высушивались в сушильном шкафу при температуре 60-80°C до постоянной массы. Затем фильтры взвешивались на лабораторных весах по ГОСТ 24104-88, с использованием мер массы по ГОСТ 7328-82, что обеспечивало высокую точность измерений. Полученные данные позволили рассчитать массу взвешенных наносов в пробе, а также определить их концентрацию в воде.



Мутность воды рассчитывается по формуле:

$$X_i = \frac{M_{\text{ф.н}} - M_{\text{ф}}}{W_{\text{в}}} \quad (4.15)$$

где  $X_i$  – Мутность, мг/л;

$M_{\text{ф.н}}$  – Масса фильтра с наносами, мг;

$M_{\text{ф.н}}$  – Масса пустого фильтра, мг;

$W_{\text{в}}$  – Объем отфильтрованной воды, л.

Для повышения точности измерений проводились в 3-х кратной повторности и расчет велся на средние значения для веса фильтров по формуле (4.15). За  $X_1$  принята мутность из верхних слоев потока, а за  $X_2$  мутность воды, проходящая через гравийный фильтр.

$$X_1 = \frac{84,1 - 22,2}{1} = 61,9, \text{ мг/л}$$

$$X_2 = \frac{57,8 - 21,3}{1} = 36,5, \text{ мг/л}$$

Произведя вычисления, получаем, что в гравийном фильтре задерживается до 40 % влекомых наносов и в конструкции водозаборного сооружения требуется предусмотреть промывное устройство.

#### **4.4 Разработка новой конструкции фильтрационного мелиоративного водозабора системы капельного орошения**

С учетом особенностей природных, антропогенных и экологических факторов, описанных в Разделе 3, разработана новая конструкция фильтрующего водозаборного сооружения для системы капельного орошения интенсивного сада для ООО «Мускат».

Водозаборное сооружение размером в плане 26,0х29,0 м и глубиной подземной части 4,9 м выполнено из армированного гидротехнического бетона марки В35. Всасывающие перфорированные трубы укладываются автокраном в траншею, устроенную на дне реки размером 2,65х9,0 м на глубину 1,8 м. Вокруг трубы устраивается обратный фильтр. Вначале трубы имеют 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.

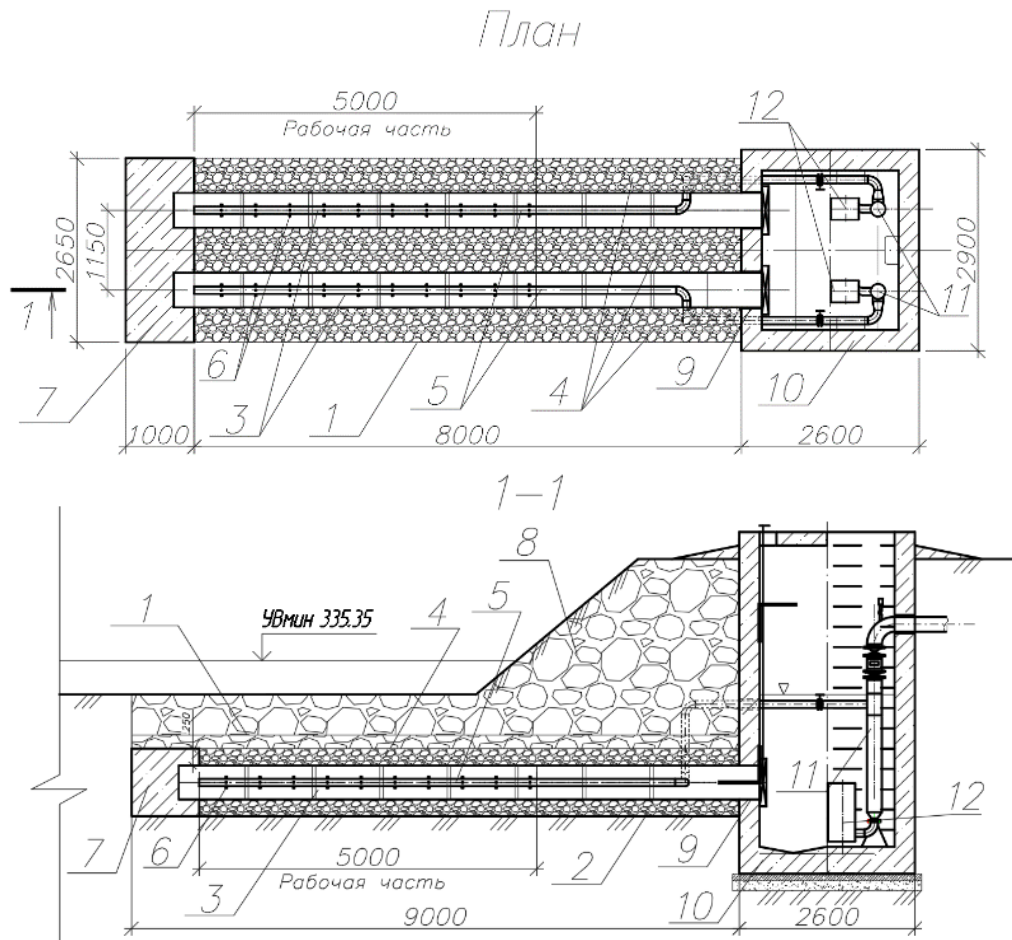
ФПТ диаметром 500 мм с шагом отверстий 0,03х0,08 м другим концом входит в приемную камеру колодца внутренним размером 2,00х2,30 м, где на входе имеются плоские затворы, обеспечивающие подачу воды в камеру во время поливного сезона. Дно камеры имеет уклон к центру, где собираются наносы и выполняется очистка камеры от них.

В колодце монтируются погружные насосы для забора воды из реки и подачи в пруд-накопитель и орошения сада. В камере монтируется 2 насоса. Каждый насос обеспечивает подачу 150 м<sup>3</sup>/ч и напор 40 м. Водозаборное сооружение устраивается подрусловым с заглублением фильтрационных перфорированных труб под уровень в ковше русла реки Белая. Дно камеры находится на отметке 333,05 м, ниже отметки дна русла реки на 1,8 м. Данная конструкция камеры обеспечивает непрерывный забор воды в оросительную систему.

На рисунке 4.10 представлена схема фильтрующего водозаборного сооружения с насосной станцией 1-го подъема. Насосная станция колодезного типа, состоящая из одной приемной камеры. Водозаборное сооружение включает фильтрационные перфорированные трубы 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 реки Белая позволяет проектировать стенки ковша с углом 90°.

Фильтрующие перфорированные трубопроводы обеспечивают забор воды из реки суммарным расходом 300 м<sup>3</sup>/ч. Принимается 2 водозаборные

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



- 1 - приемный ковш; 2 – русло реки; 3 – перфорированная труба; 4 – гравийный фильтр;  
 5 – промывная труба; 6 – цилиндрический насадок; 7 – железобетонный пригруз;  
 8 – каменная наброска; 9 – трубчатый водоприемник; 10 – водосборный колодец;  
 11 – подающая труба; 12 – напорная линия насоса.

Рисунок 4.10 – Конструкция фильтрующего водозаборного сооружения

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: рваный камень размером 300-600 мм; гравий размером 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 м/с. Площадь живого сечения трубы –  $\omega_{\text{тр.}} = 0,196 \text{ м}^2$ . Диаметр отверстий перфорации – 5 мм. Расход через перфорацию определяется по формуле

(4.9). Коэффициент расхода отверстий перфорации принимается 0,6. С учетом сопротивления фильтра коэффициент расхода уменьшается до 0,3–0,4. Площадь отверстия перфорации диаметром 5 мм составляет 0,0000196 м<sup>2</sup>.

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 для одной трубы – 1500 шт. Для 2-х труб – 3000 шт.

Скорость воды при входе в траншею равна:

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

Скорость воды над ковшом, равная 0,007 м/с, не превышает критическую скорость, допускаемую для молоди рыб (СП 31.13330.2023), равную 0,2 м/с, следовательно, молодь рыб будет защищена от травм.

Скорость воды при входе потока в камеру колодца равна 0,23 м/с, и находится в диапазоне незаиляющих скоростей [55]. При эксплуатации водозаборного сооружения во время паводков на реке необходимо учитывать мутность потока в воде, которая достигает 650 г/м<sup>3</sup>. 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 4.11).

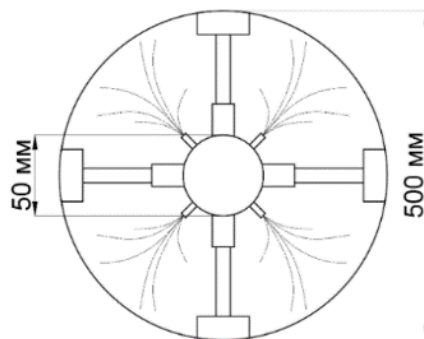


Рисунок 4.11 – Схема расположения насадков в трубе 100 мм

Насадки располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга, равным 1,0 м, что позволяет равномерно проводить промывку ФПТ. Давление для промывки ФПТ составляет 4 атм.

Расход одного насадка равен – 0,0018 м<sup>3</sup>/с. Для всех насадков (40 шт.) на одной трубе – 0,072 м<sup>3</sup>/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 диаметром 100 мм.

Для условий горной реки Белая Майкопского района Республики Адыгея предложена технология строительства фильтрующего водозаборного сооружения.

В процессе выполнения предпроектной стадии – выполнения инженерно-гидрометрических изысканий, устанавливается створ для строительства на реке водозаборного сооружения. Обустраивается строительная площадка, устраивается дренажная система для откачки воды из котлована ковша. На строительной площадке участка реки перед котлованом устраивается перемычка для его защиты от потока реки (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 – Внешний вид котлована под водозаборное сооружение



Разрабатывается котлован под фильтрующий водозабор. Устраивается гравийный фильтр на дне котлована, где производится монтаж перфорированных труб с промывными трубами (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Часть гравийного фильтра

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

Разработан способ захвата воды из реки Белая фильтрующим водозаборным сооружением, на который получен патент РФ № 2732496. Водозабор предназначен обеспечить требуемые расходы в системах водоснабжения в меженный период реки. Приемный ковш для захвата воды работает при минимальных уровнях реки

в диапазоне (0,1–0,3) м. При минимальных уровнях в приемном ковше создаются необходимые напоры за счет положения оси перфорированной трубы относительно дна реки, обеспечивая направленную фильтрацию воды из реки через гравийный фильтр в перфорированную трубу, откуда вода попадает в устьевую часть водосборного колодца. Минимальные напоры на сооружении в диапазоне (1,0–1,2) м создаются перепадом уровней между рекой и глубиной воды в водосборном колодце. Расходы фильтрационного потока определяются диаметром и количеством отверстий на перфорированной трубе, а также размером фракционного состава гравийного фильтра. При снижении напоров в сооружении за счет засорения гравийного фильтра и отверстий перфорированной трубы включается промывное устройство, состоящее из промывной трубы, на которой имеются цилиндрические насадки. Обратным током воды от насоса, через напорную трубу вода под давлением направляется в промывное устройство, которое за счет избыточного давления промывает отверстия перфорированной трубы и гравийный фильтр. Частота промывок приемного ковша 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 реке Белая (рисунок 4.14).

Обсыпка из гравия перфорированных водозаборных труб представляет собой 3-х слойный фильтр толщиной 1,0 м. 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:

$$u_{\phi} = k i , \quad (4.14)$$

где  $u_{\phi}$  – скорость фильтрации, м/с;

$k$  – коэффициент фильтрации, м/с;

$i$  – гидравлический клон.

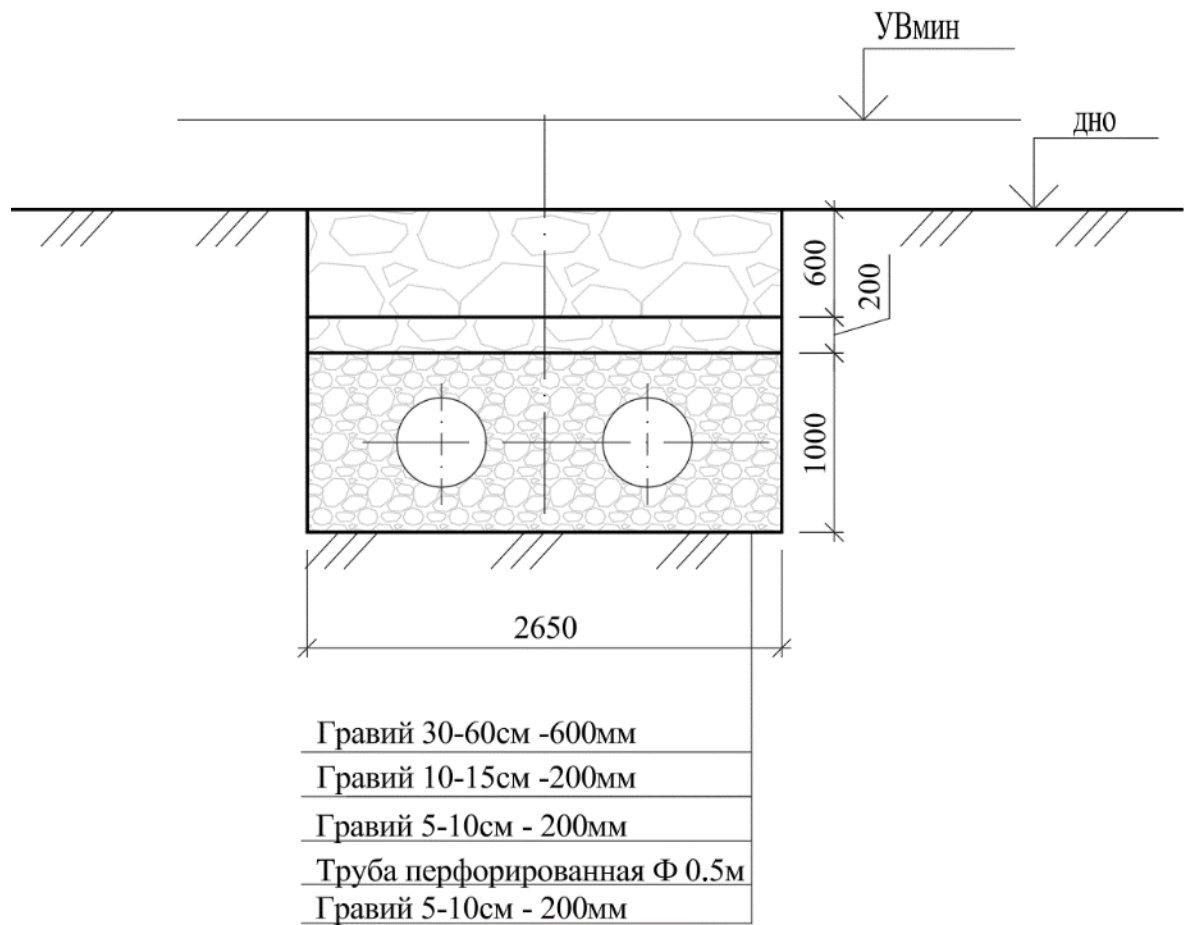


Рисунок 4.14 – Конструкция фильтра в ковше КФМФ

Гидравлический уклон определяется по зависимости:

$$i = \frac{\partial h}{\partial l}, \quad (4.15)$$

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 3-х слойного фильтра во время эксплуатации, является скорость фильтрации. Скорость фильтрации на выходе из фильтрующей перфорированной трубы находится объемным способом и служит для оценки состояния фильтра в процессе захвата воды ковшом водозабора.

#### **Выводы по разделу 4**

1. Разработана методика расчета конструктивно-технологических параметров фильтрующего водозаборного сооружения, которая позволяет адаптировать параметры конструкции к условиям эксплуатации системы капельного орошения в сложных природных и антропогенных условиях.

2. Получена теоретическая формула (4.7), 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 фильтрующего водозаборного сооружения.

3. Опытным путем определено, что в гравийном фильтре задерживается до 40 % влекомых наносов, что делает его эффективным средством для предварительной очистки воды. В конструкции водозаборного сооружения необходимо предусмотреть промывное устройство для обеспечения регулярной очистки и поддержания работоспособности фильтра.

4. Разработана новая конструкция фильтрующего водозаборного сооружения, адаптированная к особенностям гидрологического режима, морфологии и геологии русла реки Белая, которая обеспечивает устойчивую эксплуатацию системы капельного орошения по шкале рисков  $R_{MB} = 1,375 < 2,0$ .

5. Исследованиями доказано, что на стабильный забор воды в межень оказывают влияние геометрические параметры сооружения (длина и ширина ковша) и скорость фильтрации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Имеющиеся результаты исследований движения влаги при капельном орошении садов представлены для почвогрунтов, не имеющих дренажного слоя. Для сложных природных условий Северного Кавказа вопрос подачи воды к растениям яблонь изучен недостаточно. При эксплуатации наиболее эффективными мелиоративными водозаборными сооружениями на горных реках являются инфильтрационные водозаборы с промывкой фильтра обратным током воды. При этом, фильтрующий элемент должен быть размещен в русле и в ковше. Фильтр приемной камеры следует принимать многослойным, состоящим из 2-3 слоев и высоким коэффициентом фильтрации. Приток воды к фильтру должен быть обеспечен со всех сторон при минимальной глубине воды над фильтром не менее 0,5 м.

2. Исследованы зависимости, моделирующие движение влаги в почвогрунте на дренажном слое. Получено выражение (2.4), позволившее установить закономерность движения влаги и объемы смоченного контура в толще почвогрунта на дренажном слое толщиной 0,8 м при капельном орошении. Установлено время полива капельницей расходом 2,5 л/час почвогрунта на дренажном слое толщиной 0,8 м, которое составляет не более 8 часов, позволившее эффективно расходовать воду источника орошения, при этом экономия поливной воды составляет до 10 % для сложных природных условий Северного Кавказа.

3. Разработана методика выбора типа конструкции мелиоративного водозаборного сооружения по факторной бальной шкале, полученной на основе интегрального показателя рисков  $R_{\text{МВ}}$  для различных типов конструкций водозаборных сооружений, которая использовалась для выбора мелиоративного водозаборного сооружения для неустойчивых гидрологических условий горных рек. Установлено, что фильтрующее водозаборное сооружение имеет наименьшие риски при эксплуатации на горной реке Белая, при этом  $R_{\text{КР}} < 2,0$ .

4. Разработана методика расчета конструктивно-технологических

параметров фильтрующего водозаборного сооружения, включающая: определение геометрических размеров водозаборного сооружения в зависимости от расхода и скорости движения воды через фильтрующий элемент ковша; определение диаметра и количества перфорированных трубопроводов; расчет количества и диаметра перфорации трубопроводов, что позволяет адаптировать параметры конструкции к условиям эксплуатации системы капельного орошения для сложных природных и антропогенных условий. Получена зависимость, которая показывает, что с увеличением сопротивления фильтра длина ковша при постоянной ширине возрастает.

5. Разработана новая конструкция фильтрующего водозаборного сооружения с промывкой внутри приемной перфорированной трубы, адаптированная к особенностям гидрологического режима, морфологии и геологии русла реки Белая. Установлено, что на стабильный забор воды в межень наибольшее влияние оказывают геометрические параметры сооружения и скорость фильтрации. Конструкция фильтрующего водозаборного сооружения построена в ООО «Мускат» на реке Белая в Майкопском районе Республики Адыгея, на которую получены патенты РФ №№ 2732496, 2732106.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При проектировании систем капельного орошения в сложных природных условиях, для почвогрунтов на дренажном слое, рекомендуется уменьшать время одного полива при определении расчетного расхода водозаборного сооружения, что позволяет повысить водообеспеченность системы капельного орошения до 10 %.

Разработанная методика по факторной бальной шкале на основе интегрального показателя рисков 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 на дренажном слое, рекомендуется применять математическую зависимость площади контура увлажнения и расхода воды, что позволяет экономить водные ресурсы в системе капельного орошения.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдель-Азим, М. М. Совершенствование методов расчета капельного орошения плодовых культур в условиях Египта: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / М. М. Абдель-Азим. – Москва, 2010. – 24 с.
2. 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 промышленности. – Кемерово, 2009. – С. 299–304.
3. 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.
4. Агроклиматический справочник по Краснодарскому краю. – Краснодар, 1981. – 237 с.
5. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
6. Айдаров, И. П. Мелиорация и водное хозяйство: справочник. Т. 6 / И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. П. Баякина [и др.]. – Москва: Росагропромиздат, 1990. – 415 с. – ISBN 5-10-000355-3.
7. Айдаров, И. П. Расчеты контуров увлажнения при капельном и внутрипочвенном орошении / И. П. Айдаров, А. А. Алексашенко, Л. Ф. Пестов // Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования. – М., 1983. – С. 15–22.
8. Акутнева, Е. В. Применение внутрипочвенного орошения в плодоводстве / Е. В. Акутнева // Theoretical & Applied Science. – 2014. – № 10 (18). – С. 41–44. – DOI 10.15863/TAS.2014.10.18.10.
9. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 248 с.

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.
11. Афанасик, Г. И. Оптимальная влажность почвы / Г. И. Афанасик, В. Н. Пятницкий // Мелиорация: энциклопедический справочник. – Минск, 1984. – С. 323–324.
12. Ахмедов, А. Д. Корневая система яблони при различных способах полива / А. Д. Ахмедов, Е. В. Акутнева // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр., посвящ. 50-летнему юбилею Мещерского филиала ВНИИГиМ. – Рязань, 2004. – С. 58-61.
13. Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – Москва: Агропромиздат, 1980. – С. 20–42.
14. Багров, М. Н. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – Москва: Колос, 1980. – 271 с.
15. Багров, М. Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур: обзорная информация / М. Н. Багров. – Москва: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. – 76 с.
16. Багров, М. Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур в условиях Нижнего Поволжья / М. Н. Багров. – Волгоград: ВСХИ, 1991. – 52 с.
17. Багров, М. Н. Сельскохозяйственная мелиорация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 271 с.
18. 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.
19. Балакай, Г. Т. Безопасные системы и технологии капельного орошения: научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / Г. Т. Балакай [и др.]. – Москва: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 52 с.



20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Бобченко, В. И. Гидравлика внутрипочвенных увлажнителей при орошении / В. И. Бобченко // Вестник с.-х. науки. – 1961. – № 1. – С. 94–100.
24. Бондаренко, В. Л. Особенности эксплуатации водозаборных сооружений в суровых климатических условиях / В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Сантехника. – 2019. – № 5. – С. 46–48.
25. 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.
26. 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.
27. Бондаренко, В. Л. Технологические схемы управления качеством воды на водных объектах / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин. – Новочеркасск: НИМИ, 1996. – 104 с.
28. 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.
29. Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В. В. Бородычев. – Волгоград: ВолГАУ, 2010. – С. 5–12.

30. Бородычев, В. В. Технология возделывания столовой моркови при капельном орошении / В. В. Бородычев, А. А. Мартынова. – Волгоград: ВолГАУ, 2016. – 195 с.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

34. Бочарников, В. С. Исследования капельного орошения в Волго-Ахтубинской 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. – Киев: Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии наук Украины, 2012. – С. 26–27.

35. 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.

36. 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.

37. Васильев, С. М. Локальные контуры капельного увлажнения почв, формирующиеся на склоновых землях / С. М. Васильев, В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (57). – С. 279–289. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-01-28.

38. Васильев, С. М. Форма и параметры контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях / С. М. Васильев, В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 70–75. – DOI 10.28983/asj.y2020i3pp70-75.

39. Вдовин, Ю. И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. И. Вдовин. – М., 1996. – 357 с.

40. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

41. Гикало, Г. С. Перец / Г. С. Гикало. – М.: Колос, 1982. – 119 с.

42. Гиллеспи, Р. Геометрия молекул / Р. Гиллеспи; пер. с англ. Е. З. Засорина и В. С. Мاستрюкова; под ред. Ю. А. Пентина. – М.: Мир, 1975. – 278 с.

43. Голованов, А. И. Мелиорация земель / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров, В. Н. Краснощеков [и др.]. – М.: Колос, 2011. – 825 с.

44. Голованов, А. И. Основы капельного орошения (теория и примеры расчетов) / А. И. Голованов, Е. В. Кузнецов. – Краснодар, 1996. – С. 6–27.

45. Голованов, А. И. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях / А. И. Голованов, О. С. Новиков // Тр. МГМИ. – М., 1974. – Т. 34. – С. 121–124.
46. Гордиенко, П. И. Водосливные плотины с каменным, земляным или каменно-земляным телом // Сб. тр. по гидротехнике и гидростроительству. – М.: Наука, 1970. – С. 131.
47. Гордиенко, П. И. Фильтрация воды через наброску рваного камня // Сб. тр. / МИСИ. – 1955. – Т. 9. – М.: Стройиздат. – С. 68–88.
48. Гостищев, Д. П. Математическое моделирование влагопереноса при ВПО / Д. П. Гостищев, Д. С. Валиев // Евразийское Научное Объединение. – 2016. – Т. 2, № 3 (15). – С. 165–171.
49. Григоров, М. С. Внутрипочвенное орошение / М. С. Григоров. – М.: Колос, 1983. – 128 с.
50. Григоров, М. С. Контур увлажнения при внутрипочвенном орошении / М. С. Григоров, А. Д. Ахмедов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 32–33.
51. 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.
52. 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.
53. 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.
54. Григоров, М. С. Эффективность различных способов полива / М. С. Григоров // Зерновое хозяйство. – 1985. – № 1. – С. 10–12.
55. 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.

56. Гумбаров, А. Д. Проектирование оросительных систем: учебное пособие / А. Д. Гумбаров, В. Г. Гаранин, Л. В. Аражелъян. – Краснодар, 1993.

57. 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. 22–24.

58. Дьяченко, А. В. Комплекс мероприятий по разведению рыб в домашних условиях / А. В. Дьяченко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Д. В. Антонян // Эколого-экономический потенциал экосистем Северо-Кавказского 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-flash.

59. Журба, М. Г. Капельное орошение: проблемы чистой воды и надежность капельниц / М. Г. Журба // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 7. – С. 38–43.

60. Журба, М. Г. Техничко-экономические аспекты нормирования качества оросительной воды / М. Г. Журба // Повышение качества оросительной воды. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 71–77.

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

62. Избаш, С. В. О фильтрации в крупнопористых материалах // Изв. ВНИИГ. – Л., 1932. – Е. 1.

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

64. 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.

65. 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.

66. 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.

67. Килиди, Х. И. Перспективы использования водоочистных фильтров в системах внутрисочвенного 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. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2023. – С. 122–125.

68. 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. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. – С. 218–220.

69. Колесников, В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений / В. А. Колесников. – М.: Колос, 1974. – 509 с.

70. Косиченко, Ю. М. Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов: учебное пособие / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2000. – 230 с.
71. Кошелева, Р. В. Клоновые подвои яблони в Туркменистане / Р. В. Кошелева, В. И. Блехер, У. С. Керимова // Слаборослые клоновые подвои в садоводстве: сб. науч. тр. – Мичуринск, 1997. – С. 17.
72. 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.
73. Кузнецов, Е. В. Мелиорация: современное состояние и перспективы / Е. В. Кузнецов, А. Д. Гумбаров, Ю. А. Свистунов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2002. – № 400. – С. 347.
74. Кузнецов, Ю. В. Режим орошения и водопотребление безрассадных томатов на фонах минерального питания при поливе дождевальной машиной «Кубань-ЛК» на светло-каштановых почвах Волгоградского Заволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Ю. В. Кузнецов. – Волгоград, 1995. – 23 с.
75. Кузнецова, Е. И. Орошаемое земледелие: учеб. пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю. Ф. Снопич. – М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2012. – 117 с.
76. Кузовлев, Г. М. Специальные гидротехнические сооружения для атомной промышленности / Г. М. Кузовлев. – М.-Л.: ГЭИ, 1973. – 400 с.
77. 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.
78. Курбанов, С. А. Основы земледелия / С. А. Курбанов. – Махачкала, 2009. – 317 с.
79. Лаптев, И. М. Орошение садов / И. М. Лаптев. – М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1960. – 152 с.

80. Лойко, В. И. Подход к оценке интегрального показателя риска интегрированных производственных систем / В. И. Лойко, Н. В. Ефанова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2005. – № 11. – С. 53–70.

81. Маслов, Б. С. Справочник по мелиорации: справочное издание / Б. С. Маслов, И. В. Минаев, К. В. Губер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Росагропромиздат, 1980. – 256 с.

82. 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.

83. 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»: дис. ... д-ра техн. наук / М. П. Мещеряков. – 2022. – 430 с.

84. Михеева, О. В. Методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов с земляным руслом / О. В. Михеева, А. В. Кравчук, С. С. Орлова, Е. Н. Миркина, Т. А. Панкова // Природообустройство. – 2024. – № 1. – С. 12–17. – DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-12-17.

85. Михеева, О. В. Исследование применимости методов расчета поливных норм в условиях гетерогенности почвенного профиля / О. В. Михеева, Е. Н. Миркина, С. С. Орлова, Т. А. Панкова // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 6. – С. 110–116. – DOI: 10.28983/asj.y2024i6pp110-116.

86. Образовский, А. С. Водозаборные сооружения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский. – Москва: Стройиздат, 1976. – 368 с.

87. 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.

88. Панкова, Т. А. Прогноз гидродинамической аварии на гидротехнических сооружениях / Т. А. Панкова, А. В. Кравчук, С. С. Орлова [и др.] // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: материалы II Региональной научно-технической конференции, Саратов, 04–18 марта 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2024. – С. 260–264.

89. Пчелкин, В. В. Водопотребление белокочанной капусты при капельном поливе в Нечерноземной зоне России / В. В. Пчелкин, Е. А. Попова, С. О. Владимиров // Научная жизнь. – 2025. – Т. 20, № 1 (139). – С. 10–20. – DOI: 10.35679/1991-9476-2025-20-1-10-20.

90. Пчелкин, В. В. Водопотребление многолетних трав на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадей Нечерноземной зоны / В. В. Пчелкин, М. А. Никитина, Н. В. Сурикова // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 36–42. – DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-36-42.

91. Письменский, Ф. И. Сборные гравийно-трубчатые галереи // Транспортное строительство. – 1957. – № 1. – С. 14–16.

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

93. Рождественский, А. В. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

94. Об охране атмосферного воздуха: федеральный закон № 313-ФЗ: принят 31.12.2008 (с изменениями).

95. Об охране окружающей среды: федеральный закон № 7-ФЗ: принят Гос. Думой 20 декабря 2001 г.; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.: (с изменениями). – 10.01.2002.

96. Рычков, Н. И. Техника орошения садов и ягодников / Н. И. Рычков, Е. П. Олефир. – М.: Россельхозиздат, 1973. – С. 38.

97. Сергеев, К. Преимущества капельного орошения сельхозкультур / К. Сергеев // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 7 (169). – С. 15–17.
98. Скобельцин, Ю. А. Системы капельного орошения / Ю. А. Скобельцин, А. Д. Гумбаров. – Краснодар: КСХИ, 1985. – 133 с.
99. Смирнов, А. А. Водозабор с незатопливаемой фильтрующей дамбой в водоеме // Сб. тр. / ВНИИ ВОДГЕО. – 1988. – Водопрпускные и водозаборные сооружения. – 108 с.
100. Сурин, А. А. Водоснабжение. Ч. 1. Вода и водосборные сооружения / А. А. Сурин. – М.-Л.: ОНТИ, 1932. – 288 с.
101. 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. Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. – С. 630–632.
102. Умиров, А. М. Сезонная динамика поглощения элементов минерального питания яблони на галечниковых почвах // Пути интенсификации садоводства: сб. – Нальчик, 1988. – С. 135–143.
103. Умиров, А. М. Освоение галечниковых земель под сады / А. М. Умиров. – Нальчик: Эльбрус, 1981. – 132 с.
104. Фесенко, Л. Н. 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. 187–190.
105. Флорце, И. И. Капельное орошение плодовых культур / И. И. Флорце [и др.] // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1977. – № 6. – С. 11–15.
106. Хаханов, В. И. Модели пространств в научных исследованиях / В. И. Хаханов, С. В. Чумаченко // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1 (18).

– URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-prostranstv-v-nauchnyh-issledovaniyah> (дата обращения: 06.01.2026).

107. Хецуриани, Е. Д. 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.

108. Хецуриани, Е. Д. Научные основы разработки гидротехнических устройств для обеспечения надежности и безопасной работы водозаборов / Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Гарбуз, Т. Е. Хецуриани // Мелиорация и гидротехника = Land Reclamation and Hydraulic Engineering. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 332–345. – DOI 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1253> (дата обращения: 06.01.2026).

109. 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.

110. Хецуриани, Е. Д. 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.

111. Хоржан, О. К. Водопотребление и способы полива интенсивных яблоневых садов в Приднестровье Молдавии: дис. ... канд. с-х. наук / О. К. Хоржан. – Новочеркасск, 1985. – 290 с.

112. Храбров, М. Ю. Определение технологических параметров систем капельного орошения / М. Ю. Храбров, В. К. Губин, Н. Г. Колесова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1 (61). – С. 132–136.

113. Чаусов, В. М. Влияние поливов и минеральных удобрений на плодоносность почек винограда и число ягод в его гроздях / В. М. Чаусов, Ю. А. Скобельцын // Виноград и вино России. – 2000. – № 1. – С. 5–6.

114. Черняева, А. М. Россия: водохозяйственное устройство / под научной редакцией А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: изд-во Агрокосмозкология, 1999. – 400 с.
115. 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.
116. 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. – 2020. – № 3 (39). – С. 123–139. – DOI 10.31774/2222-1816-2020-3-123-139. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1142> (дата обращения: 06.01.2026).
117. Яковлев, С. А. Особенности роста корневой системы яблони при орошении / С. А. Яковлев // Сад и огород. – 1953. – № 8.
118. Ясониди, О. Е. Капельное орошение на Северном Кавказе / О. Е. Ясониди. – Ростов-на-Дону: изд. Ростовского университета, 1987. – 76 с.
119. Ясониди, О. Е. Проектирование систем капельного орошения / О. Е. Ясониди // Тр. НИМИ. – Новочеркасск, 1984. – 101 с.
120. 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.
121. Chenafi, A. Influence of irrigation strategies on productivity, fruit quality and soil-plant water status of subsurface drip-irrigated apple trees / A. Chenafi, P. Monney, E. Arrigoni, A. Boudoukha, C. Carlen // Fruits. – 2016. – Vol. 71. – P. 69–78.
122. Chie, L. H. Derivation of Engineering Design Criteria for Flow Field Around Intake Structure: A Numerical Simulation Study / L. H. Chie, A. K. A. Wahab // Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. – Vol. 8, № 8. – P. 827. – DOI 10.3390/jmse8080827.

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

124. Nazari, E. Measurement and simulation of the water flow and root uptake in soil under subsurface drip irrigation of apple tree / E. Nazari, S. Besharat, K. Zeinalzadeh, A. Mohammadi // *Agricultural Water Management*. – 2021. – Vol. 255. – Art. 106972. – ISSN 0378-3774. – DOI 10.1016/j.agwat.2021.106972.

125. Williams, G. S. Hydraulic Tables: The Elements of Gagings and the Friction of Water Flowing in Pipes, Aqueducts, Sewers, Etc., as Determined by the Hazen and Williams Formula and the Flow of Water Over Sharp-edged and Irregular Weirs, and the Quantity Discharged as Determined by Bazin's Formula and Experimental Investigations Upon Large Models / G. S. Williams, A. Hazen. – John Wiley & Sons, Incorporated, 1920.

126. Honari, M. Comparison of HYDRUS-3D soil moisture simulations of subsurface drip irrigation with experimental observations in the South of France / M. Honari, A. Ashrafzadeh, M. Khaledian, M. Vazifiedoust, J. C. Mailhol // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. – 2017. – Vol. 143 (7). – 8 p. – DOI 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001188.

127. Khetsuriani, E. D. Methodological measurement basis environmental safety in construction and operation of water management facilities / E. D. Khetsuriani, 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. – Art. 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) (дата обращения: 06.01.2026).

128. Khetsuriani, E. D. Analysis and Evaluation of Parameters Determining Maximum Efficiency of Fish Protection / 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> (дата обращения: 06.01.2026).

129. Kuznetsov, E. Method of restoring water level of small rivers / E. Kuznetsov, A. Khadzhidi, L. Motornaya, K. Kilidi, M. Filimonov, L. Kravchenko // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 273. – Art. 05007. – DOI 10.1051/e3sconf/202127305007.

130. Leib, B. Partial rootzone drying and deficit irrigation of «Fuji» apples in a semi-arid climate / B. Leib, H. Caspari, C. Redulla, P. Andrews, J. Jabro // Irrigation Science. – 2005. – Vol. 24. – P. 85–99. – DOI 10.1007/s00271-005-0013-9.

131. Osroosh, Y. Comparison of irrigation automation algorithms for drip-irrigated apple trees / Y. Osroosh, R. T. Peters, C. S. Campbell, Q. Zhang // Computers and Electronics in Agriculture. – 2016. – Vol. 128. – P. 87–99. – DOI 10.1016/j.compag.2016.08.013.

132. 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. – 2021. – Vol. 659 (1). – Art. 012058.

133. 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. – 2020. – Vol. 488 (1). – Art. 012056.

134. Prakke, D. Intake design for small streams // Reaching the Unreached: Challenges for the 21st Century: Proceedings of the 22nd WEDC Conference. – New Delhi, India, 1996. – P. 199–200.

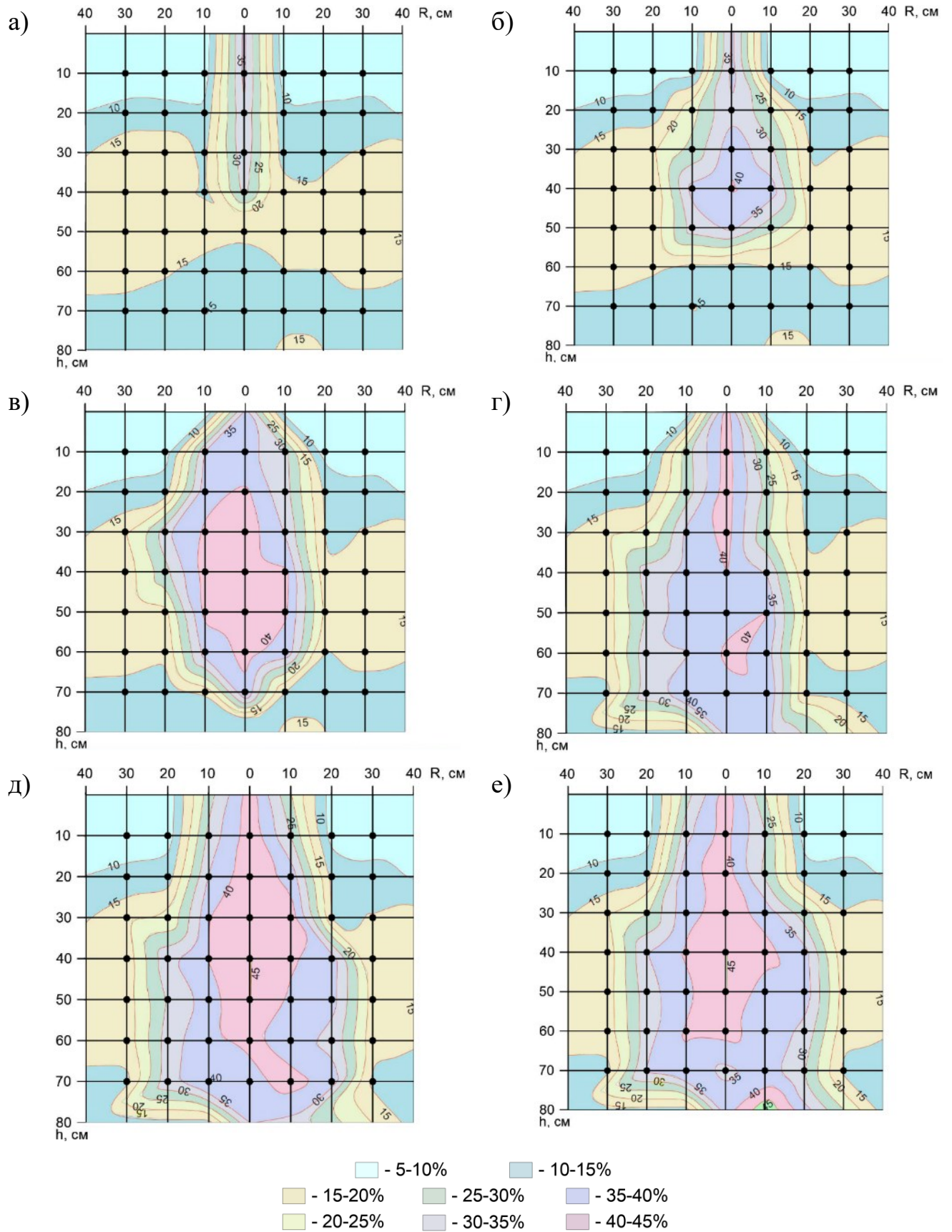
135. Yang, Q. Effect of different drip irrigation methods and fertilization on growth, physiology and water use of young apple tree / Q. Yang, F. Zhang, F. Li // Scientia Horticulturae. – 2011. – Vol. 129, Issue 1. – P. 119–126. – ISSN 0304-4238. – DOI 10.1016/j.scienta.2011.03.019.

136. Richards L. A. Capillary conduction of liquids through porous medium // Physics. 1931. Vol. 1. P. 318–333.

137. 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. Y. Kostenko, V. A. Makarov, B. A. Nefedorov, E. P. Borovoi, A. D. Akhmedov, E. S. Vorontsova // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2019. – Vol. 14, № 3. – P. 677–685.
138. Sokalska, D. I. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system / D. I. Sokalska, D. Z. Haman, A. Szewczuk, J. Sobota, D. Dereń // *Agricultural Water Management*. – 2009. – Vol. 96, Issue 6. – P. 917–924. – ISSN 0378-3774. – DOI 10.1016/j.agwat.2008.12.003.
139. Svoboda, P. The Effect of Drip Irrigation on the Length and Distribution of Apple Tree Roots / P. Svoboda, J. Haberle, M. Moulik, I. Raimanová, G. Kurešová, M. Mészáros // *Horticulturae*. – 2023. – Vol. 9. – Art. 405. – DOI 10.3390/horticulturae9030405.
140. Technology of Restoring Degraded Water Objects / E. Kuznetsov, A. Khadzhidi, L. Motornaya, L. Kravchenko, A. Tratnikova // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – Vol. 509. – P. 1587–1593.
141. Thompson, T. L. The Potential Contribution of Subsurface Drip Irrigation to Water-Saving Agriculture in the Western USA / T. L. Thompson, P. Huan-cheng, L. Yu-yi // *Agricultural Sciences in China*. – 2009. – Vol. 8, Issue 7. – P. 850–854. – ISSN 1671-2927. – DOI 10.1016/S1671-2927(08)60287-4.

## Приложение А

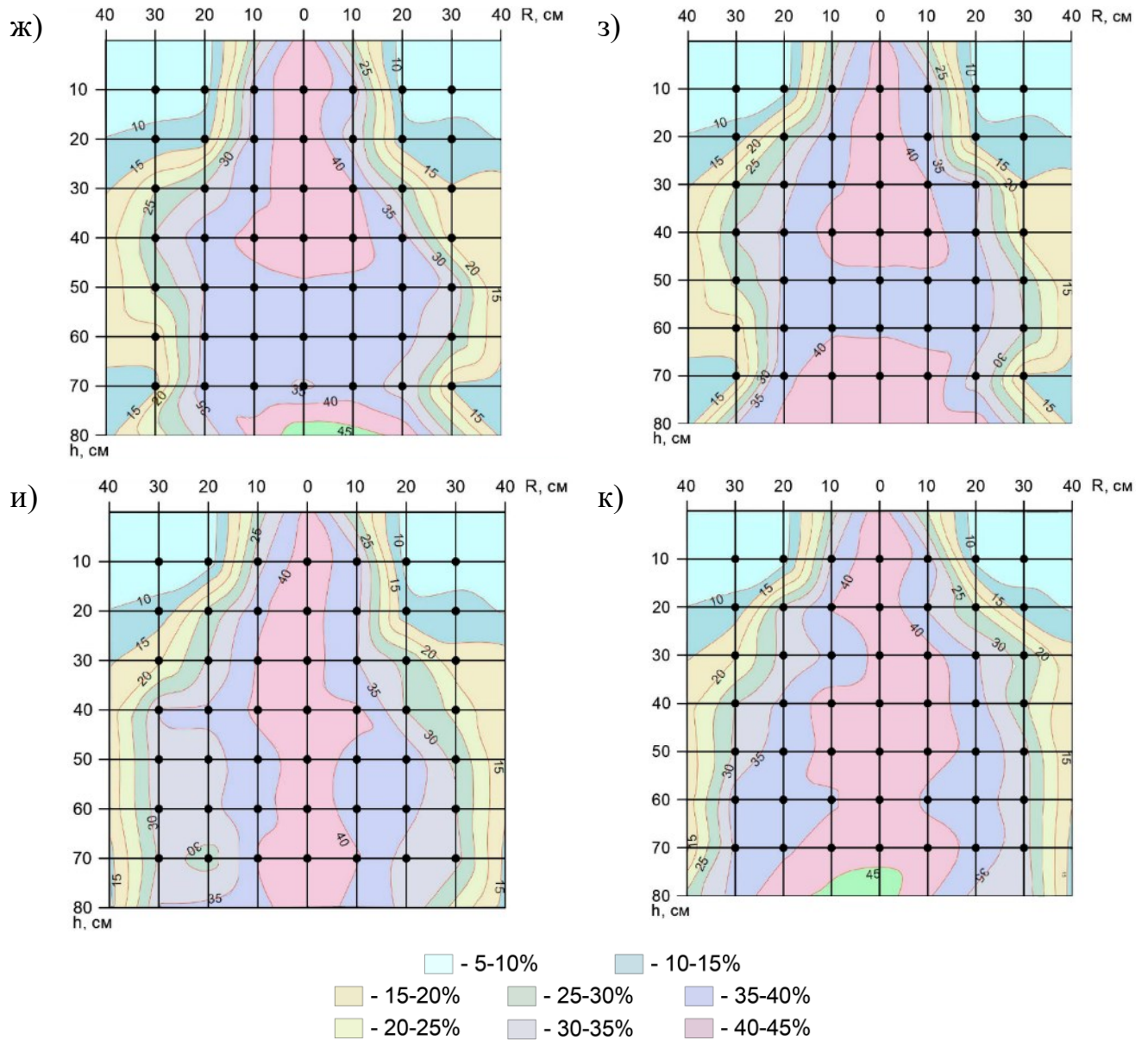




а – 1 час полива; б – 2 час полива; в – 3 час полива;

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

### Картограммы влажности в почвенном профиле на фильтрующем основании



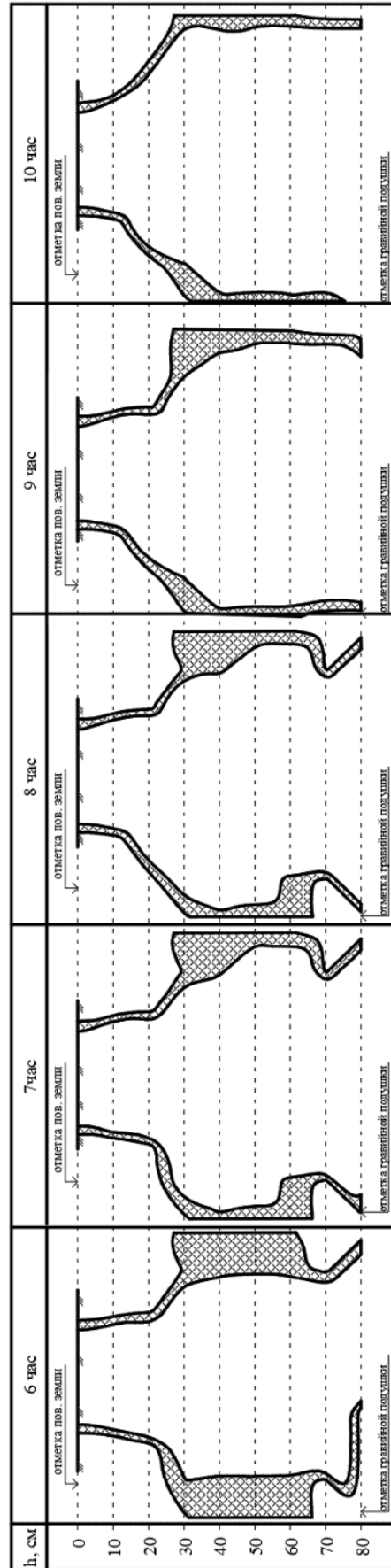
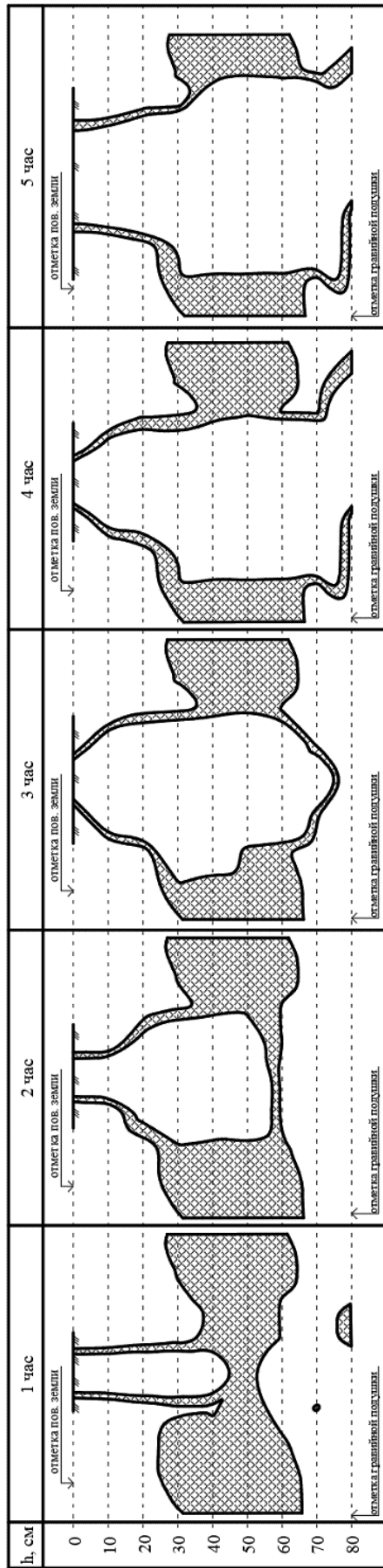
ж – 7 час полива; з – 8 час полива;

и – 9 час полива; к – 10 час полива.

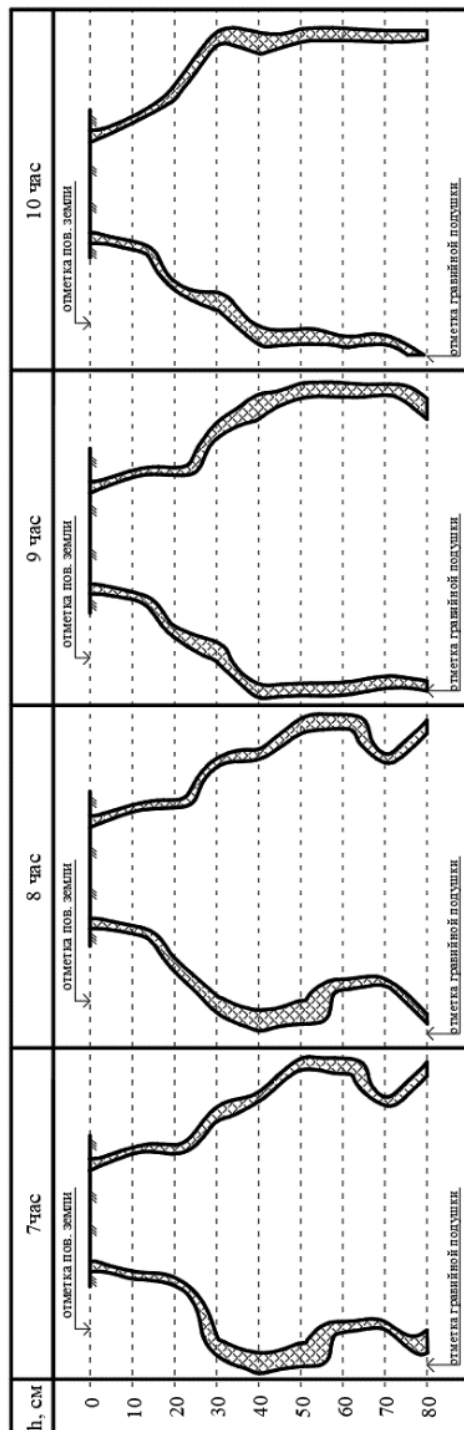
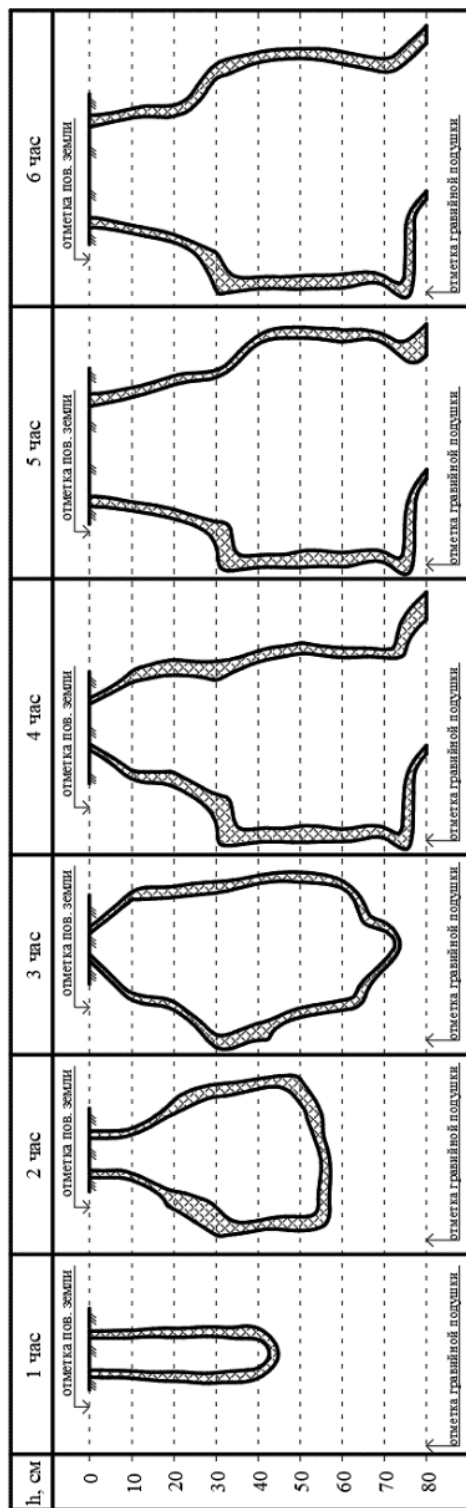
Картограммы влажности в почвенном профиле на фильтрующем основании

## Приложение Б

Результат оцифровки измерений предельной влажности 15% во времени

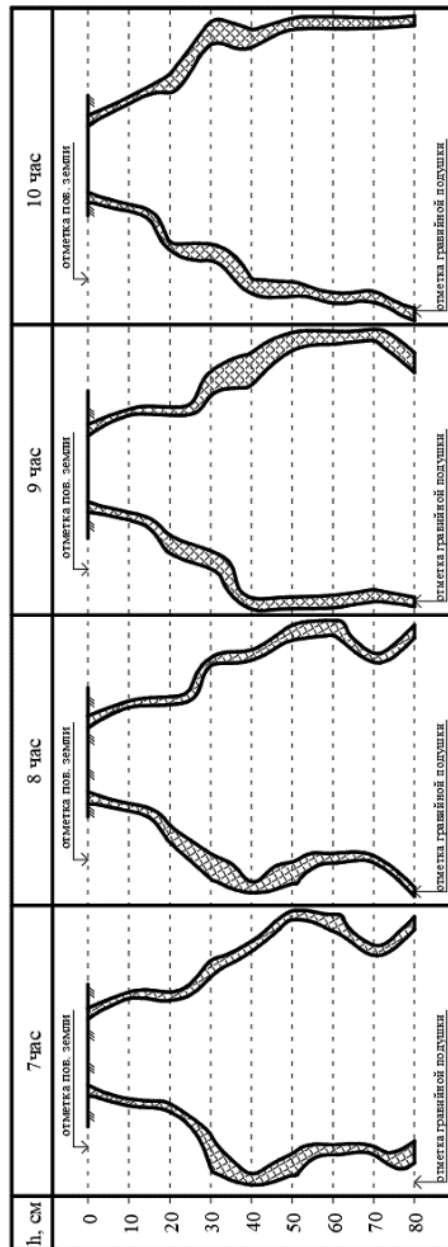
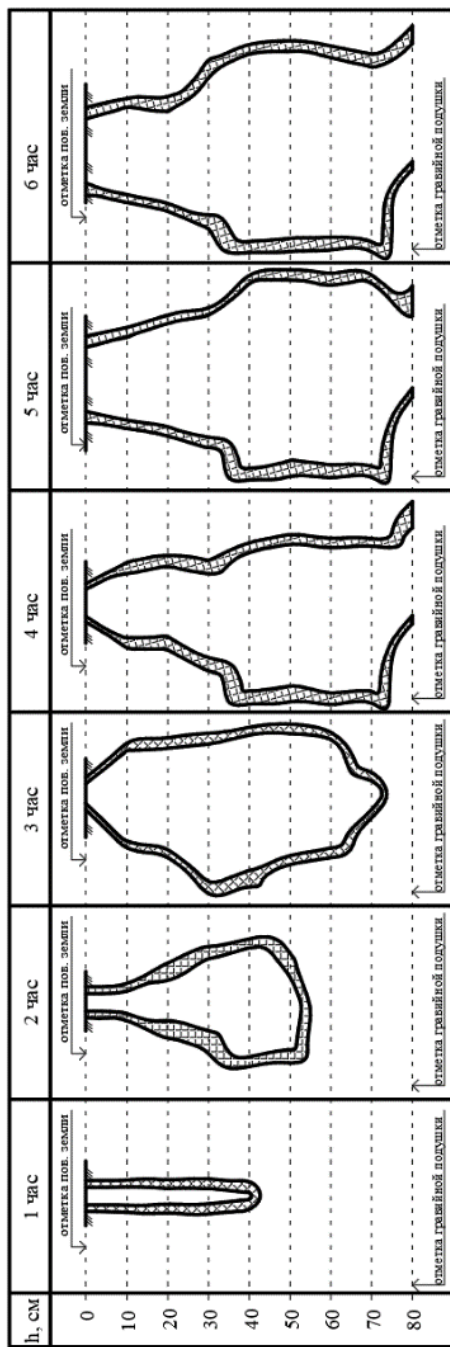


Результат оцифровки измерений предельной влажности 20% во времени

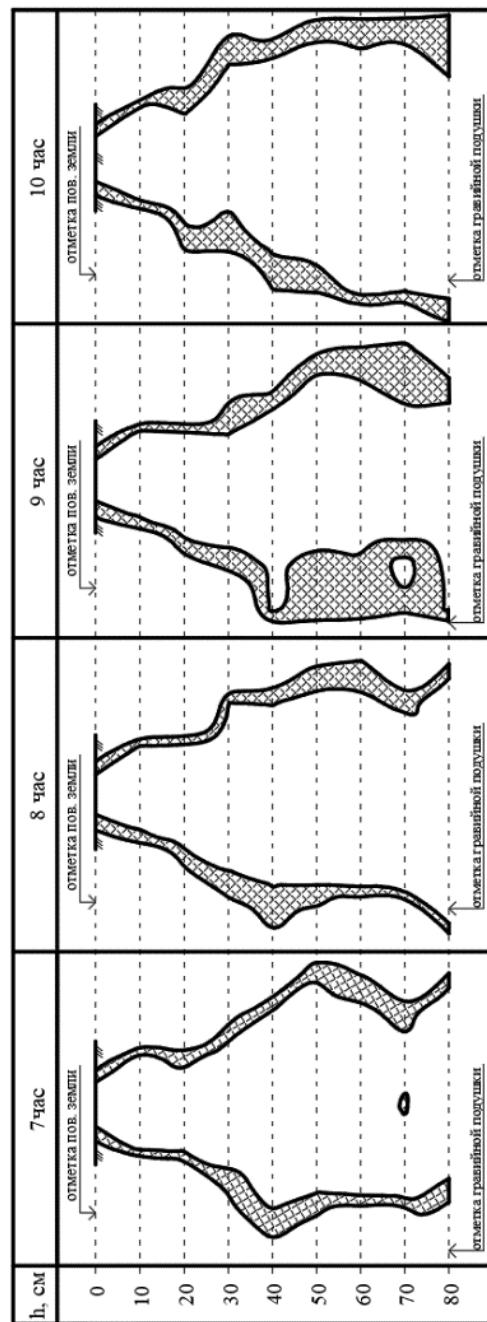
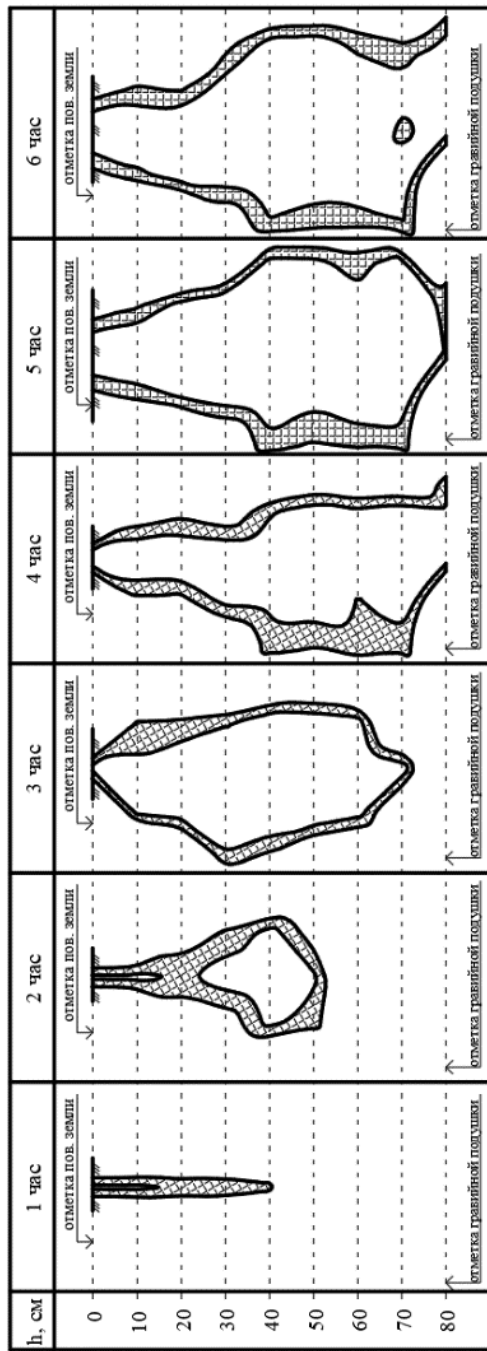




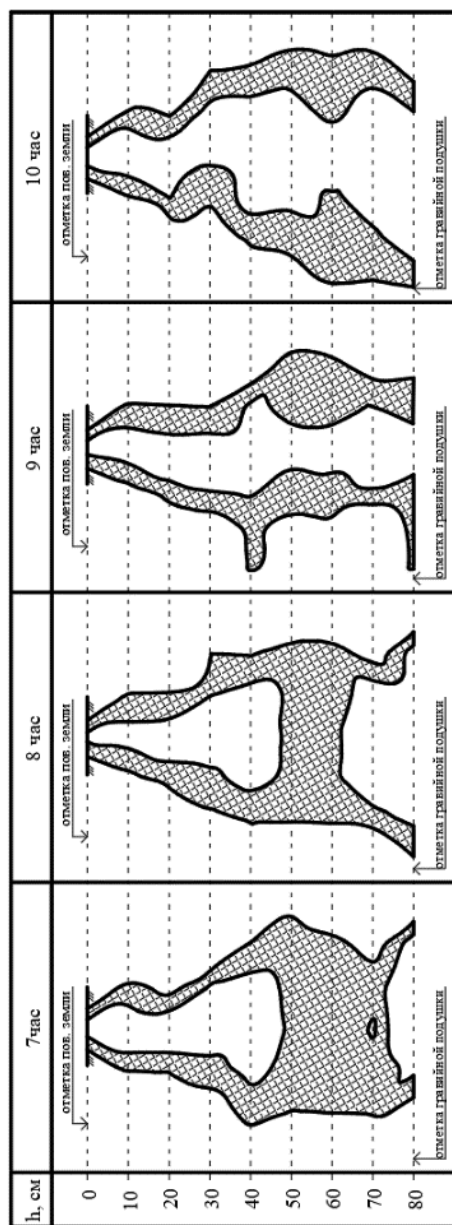
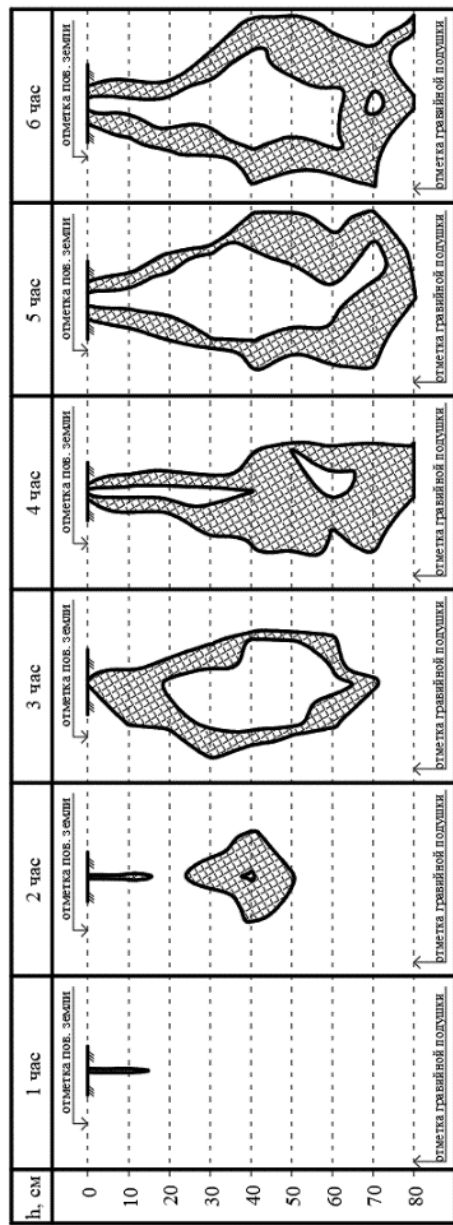
Результат оцифровки измерений предельной влажности 25% во времени



Результат оцифровки измерений предельной влажности 30% во времени

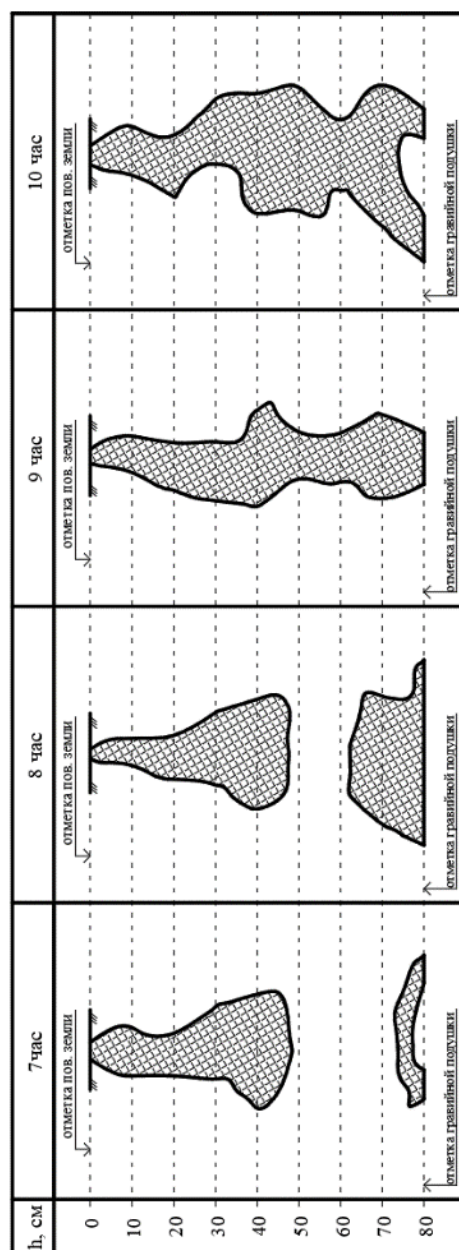
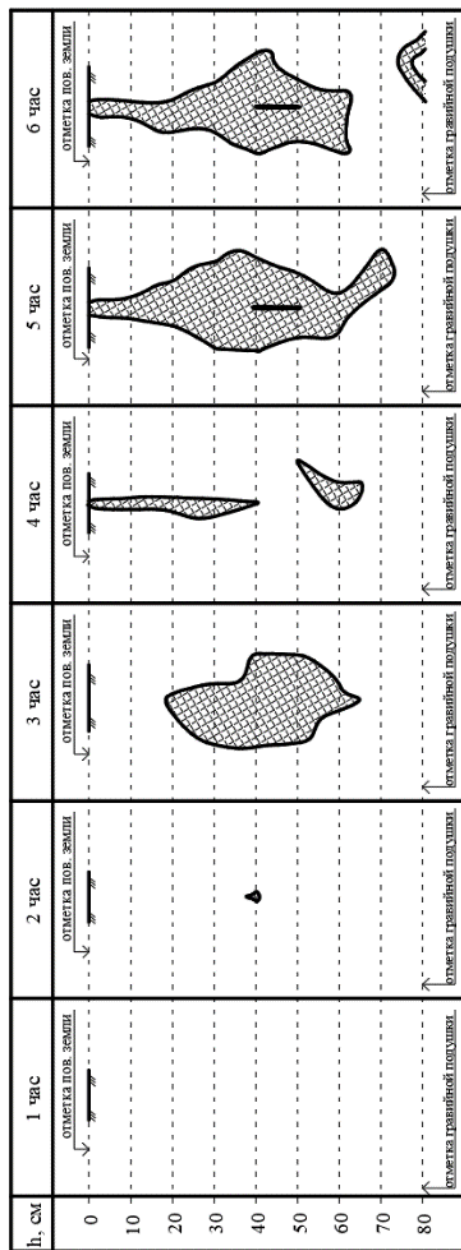


Результат оцифровки измерений предельной влажности 35% во времени





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	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы

h, см	7 час	8 час	9 час	10 час
0	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли	отметка пов. земли
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы	отметка граничной почвы

## Приложение В

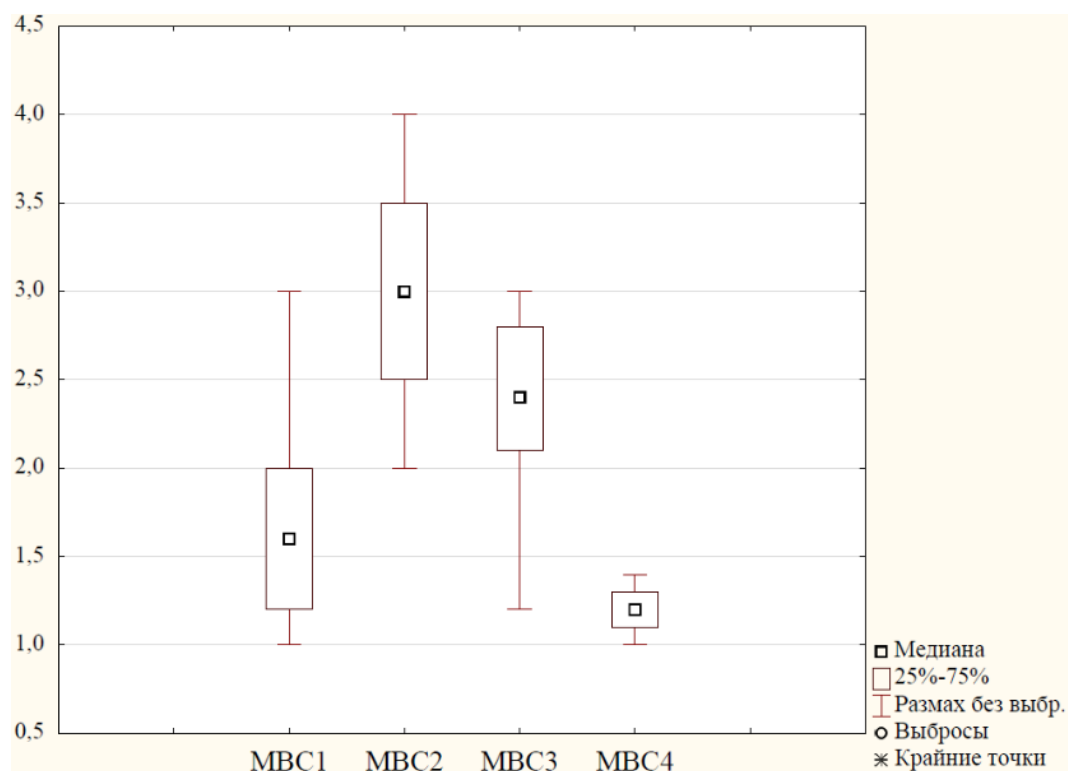


Рисунок 1 - Диаграмма размаха фактора «Гидрологический режим водного источника. Межень и паводок»

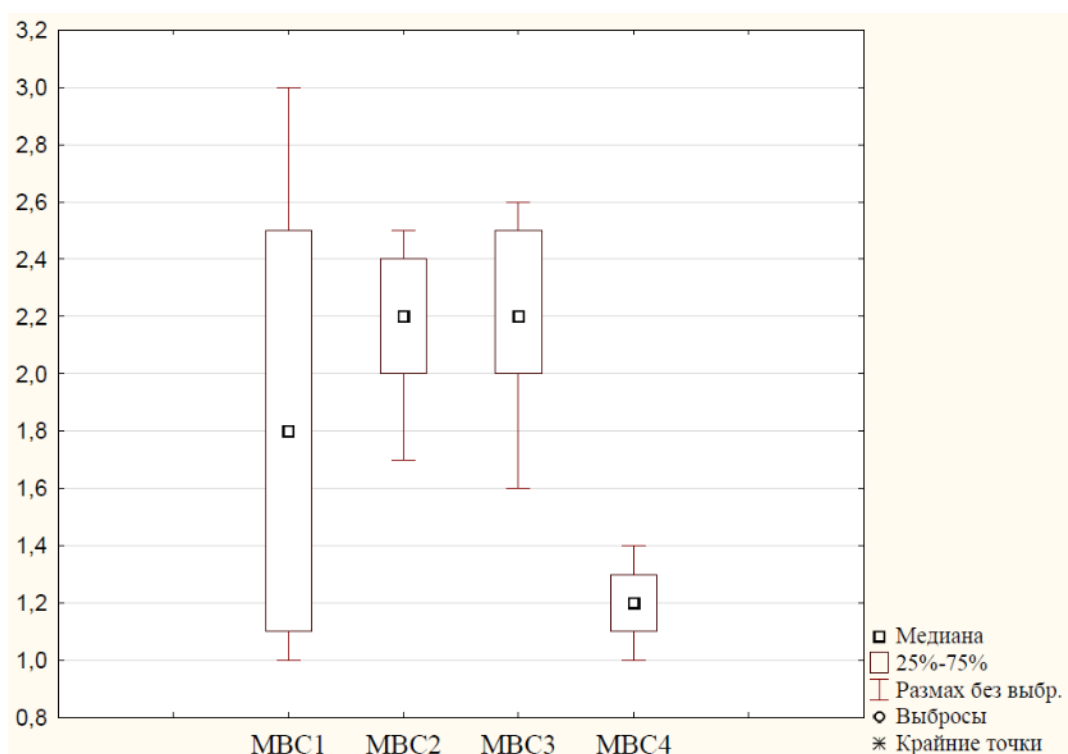


Рисунок 2 - Диаграмма размаха фактора «Морфология реки»

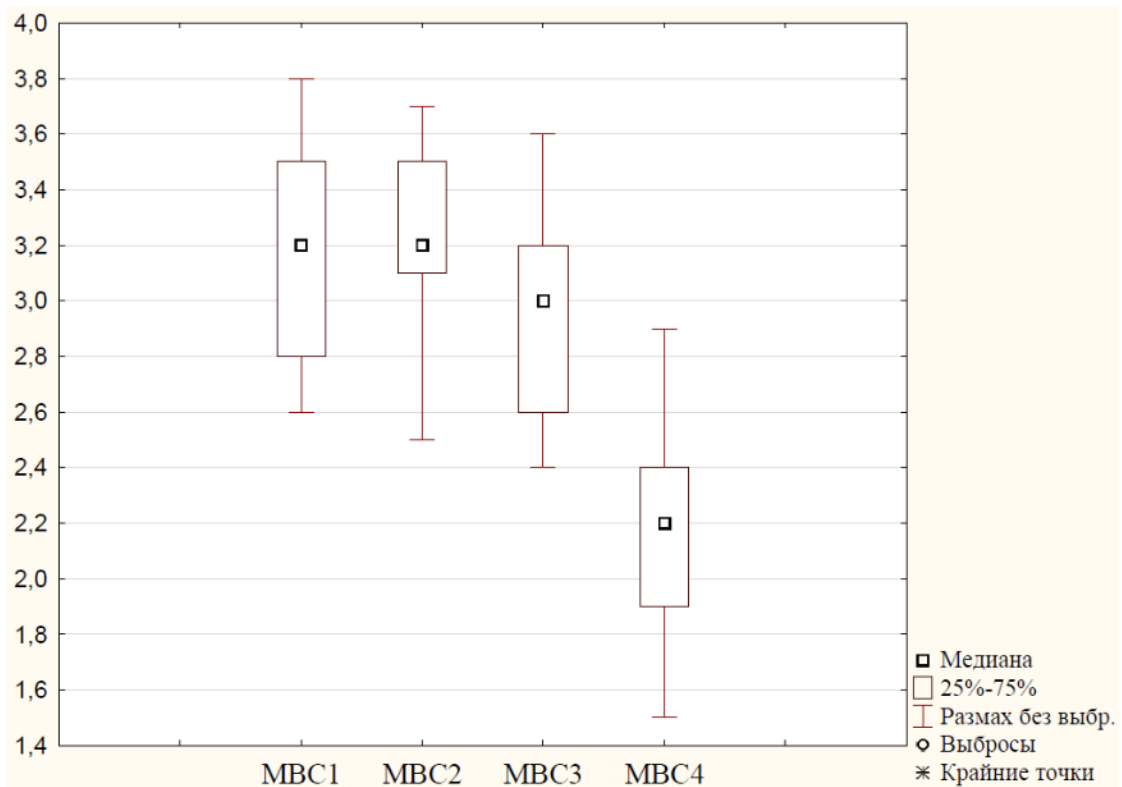


Рисунок 3 - Диаграмма размаха фактора «Геология русла реки»

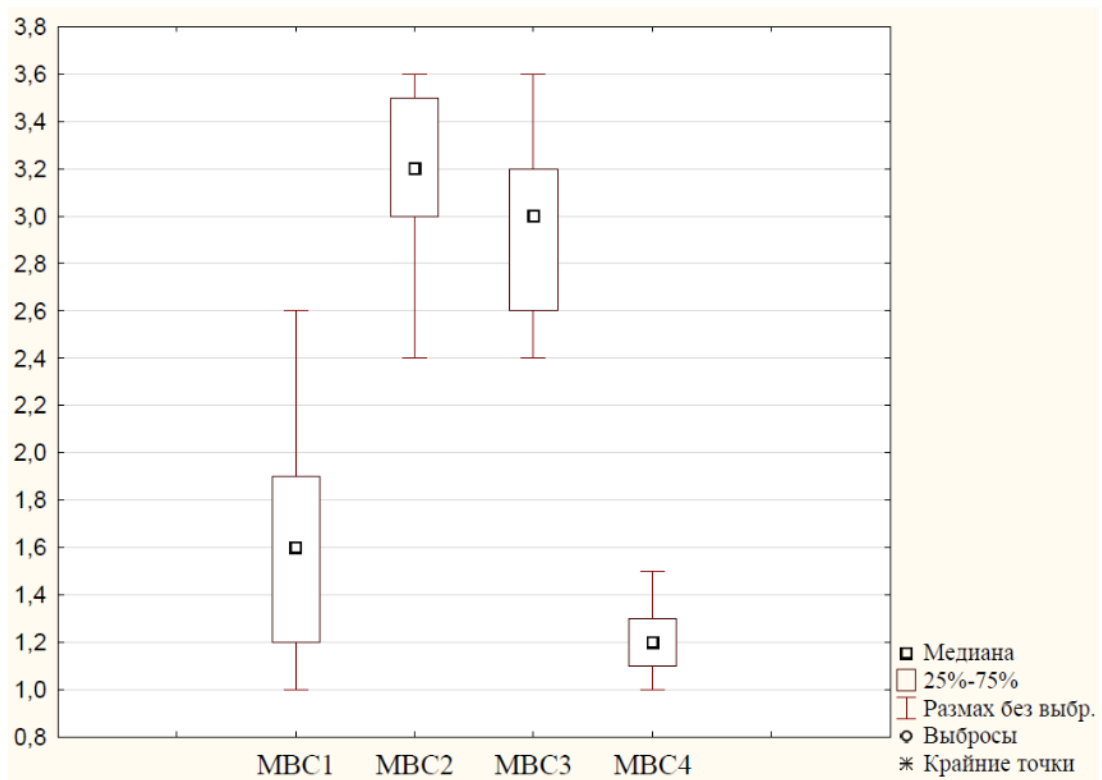


Рисунок 4 - Диаграмма размаха фактора «Режим наносов»

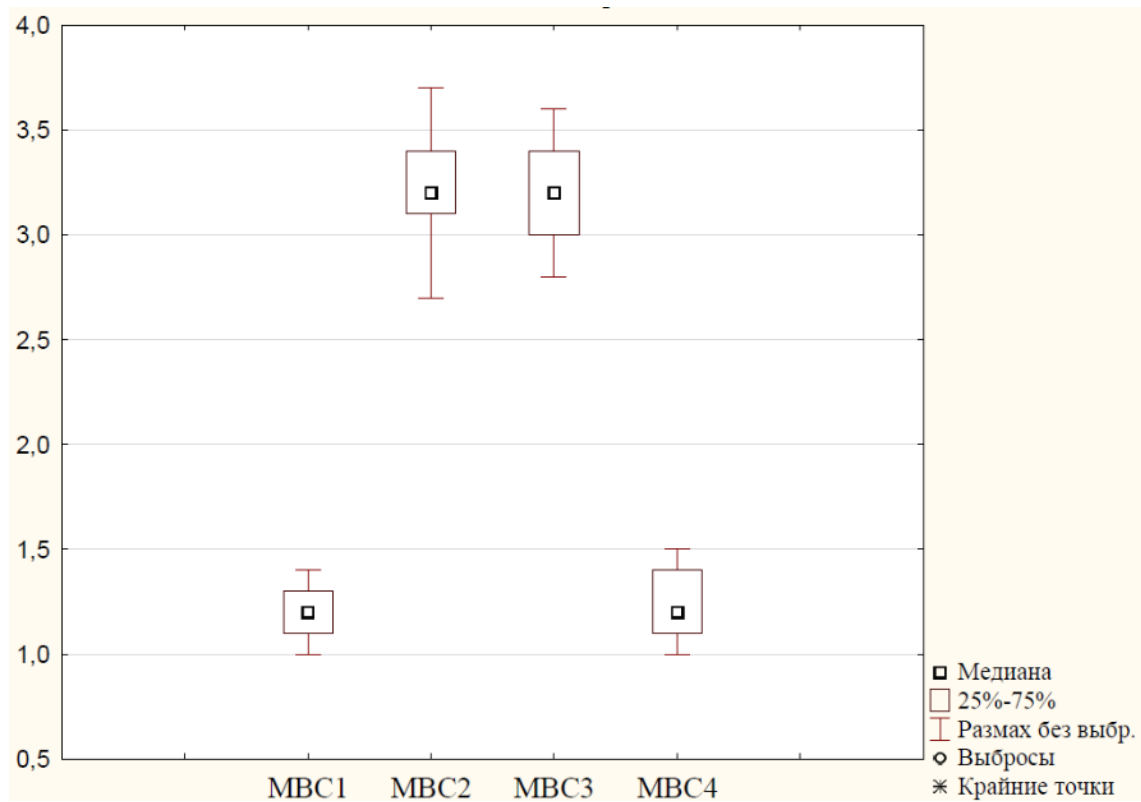


Рисунок 5 - Диаграмма размаха фактора «Защита от гидробионтов»

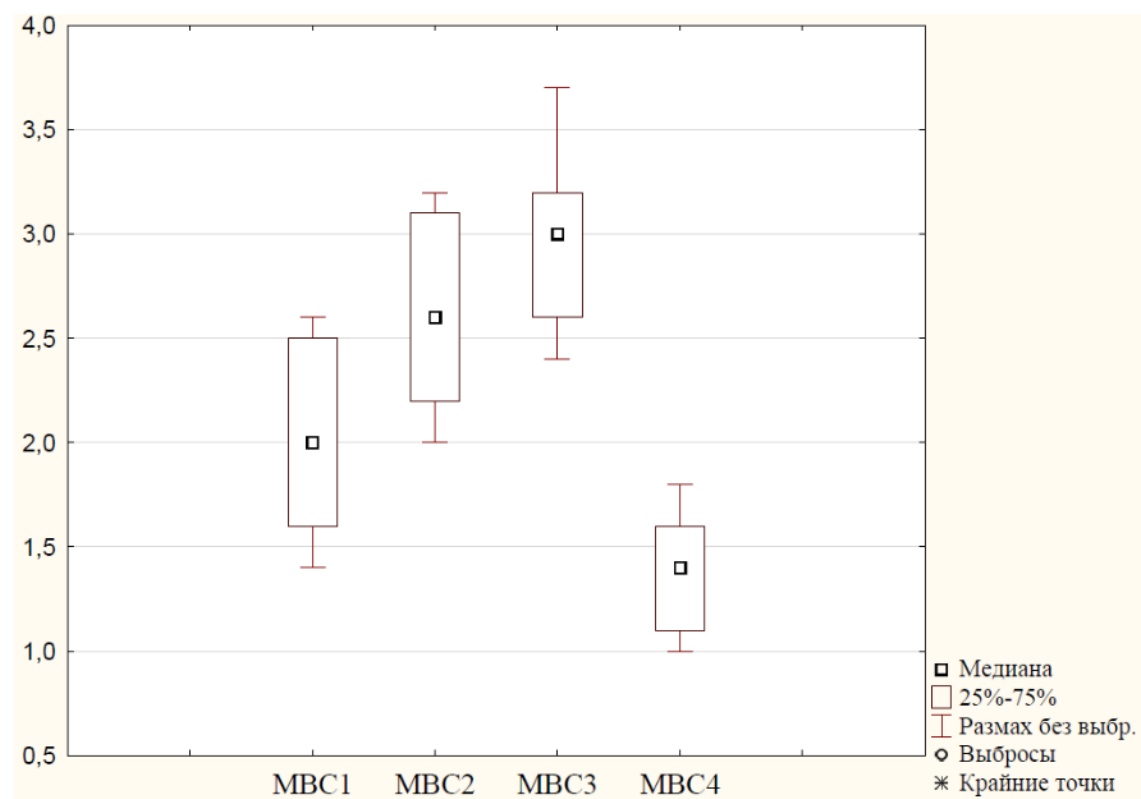


Рисунок 6 - Диаграмма размаха фактора «Защита от наносов»

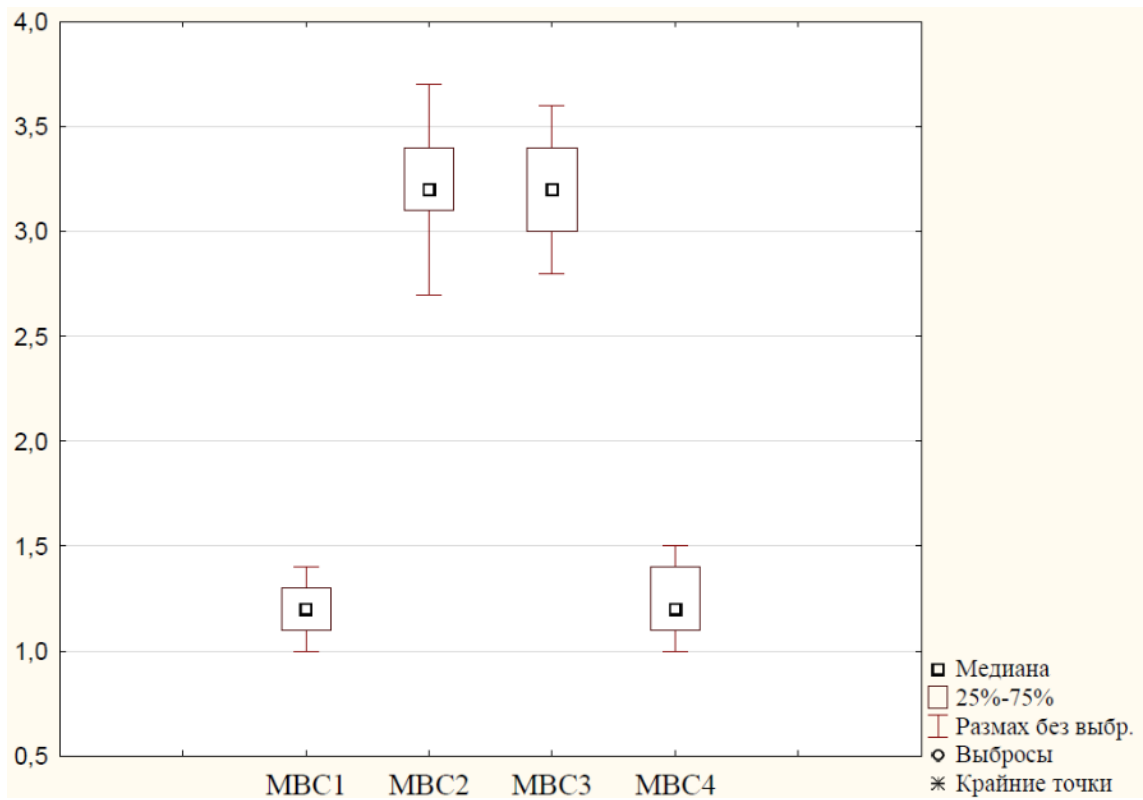


Рисунок 7 - Диаграмма размаха фактора «Защита от гидробионтов»

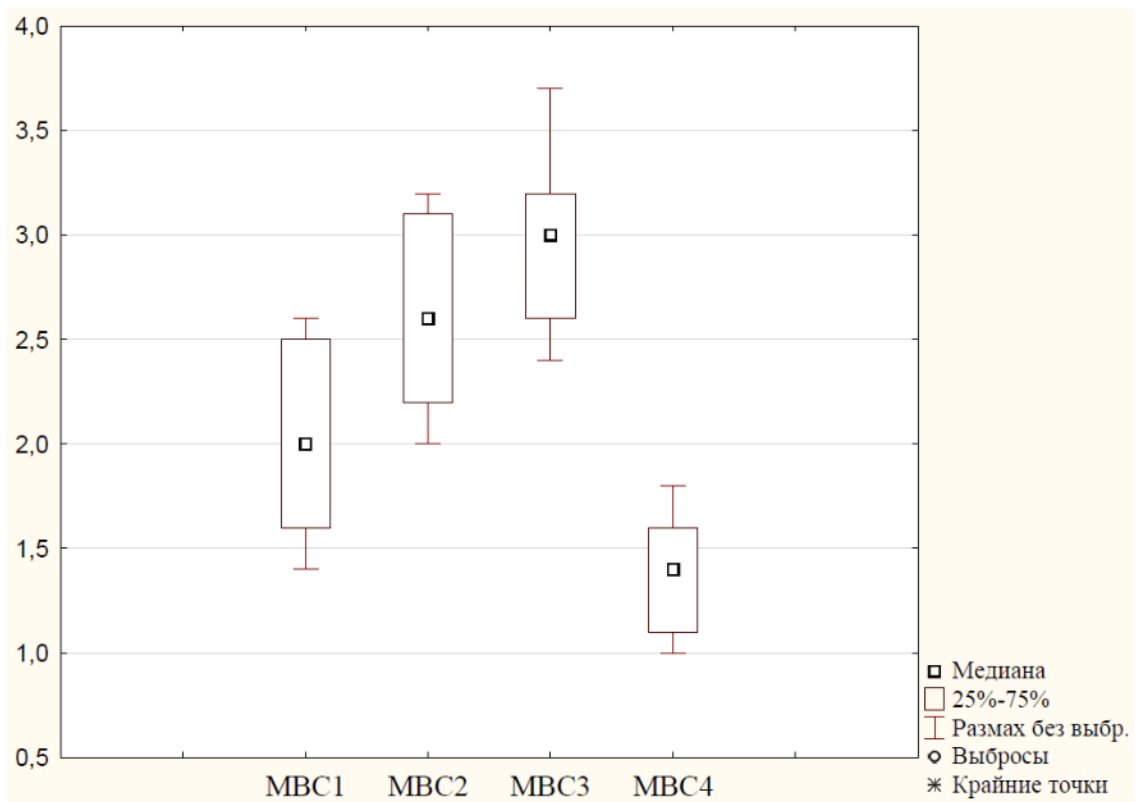


Рисунок 8 - Диаграмма размаха фактора «Защита от наносов»

## Приложение Г





УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Мускат»

Ю.Х. Тюльпаров

2019 г.

## АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы  
кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения  
Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина

Комиссия в составе:

Председатель: директор Ю.Х. Тюльпаров

Члены комиссии: Зав. кафедрой, профессор Е.В. Кузнецов, ст. преподаватель  
Х.И. Килиди от КубГАУ.

Составили настоящий акт о том, что результаты исследований ученых Е.В. Кузнецова, Х.И. Килиди, А.Е. Хаджиди, А.Н. Куртнезирова внедрены в состав проекта «Проект капельного орошения сада на площади 341,48 га ООО КХ «Мускат» Майкопского района Республика Адыгея).

Разработаны система капельного орошения на площади 341,48 га для сложных природных условий Северного Кавказа, новая конструкция мелиоративного ковшового фильтрационного водозабора, позволяющего в экстремальных условиях при дефиците водных ресурсов р. Белой удовлетворять потребности в воде яблоневого сада.

Проект внедрен на площади 341,48 га в ООО «Мускат» Майкопского района Республики Адыгея.

Председатель:

Члены комиссии:

*[Handwritten signature of Y. Kh. Tyulparov]*  
\_\_\_\_\_  
*[Handwritten signature of E. V. Kuznetsov]*  
\_\_\_\_\_  
*[Handwritten signature of Kh. I. Kilidi]*  
\_\_\_\_\_  
*[Handwritten signature of N. V. Kaminskiy]*  
\_\_\_\_\_

/Ю.Х. Тюльпаров/

/ Е.В. Кузнецов /

/ Х.И. Килиди /

/ Н.В. Каминский /

/ /

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ  
им. И.Т. Трубилина»

« 18 » 2019г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор  
ООО «Южные Земли»

« 11 » 2019г.

**АКТ**

внедрения научных разработок кафедры гидравлики и с/х водоснабжения  
КубГАУ на предприятии ООО «Южные Земли»  
Крымского района Краснодарского края

Настоящим актом подтверждается, что учеными кафедры гидравлики и с/х водоснабжения КубГАУ профессором Кузнецовым Е.В., доцентом Хаджиди А.Е.; ст. преподавателями Килиди Х.И., Куртнезировым А.Н., аспирантом Колесниченко К.В. разработан «Проект орошаемого участка на площади 260 га из состава земель общей площадью 309 га, принадлежащих ООО «Южные Земли», расположенного в Крымском районе Краснодарского края» для строительства системы капельного орошения.

Проект внедрен на предприятии ООО «Южные Земли», по проекту построена и эксплуатируется система капельного орошения на площади 309га.

В проекте применены передовые технологии строительства водозаборного сооружения в виде перфорированных труб, который обеспечивает бесперебойный забор воды при минимальных уровнях воды в р. Абин с расходом 280 м<sup>3</sup>/час, защиту молоди рыб более 90%. Обоснованы такты подачи воды на орошение, что позволят экономить до 10% электроэнергии.

Характеристика масштаба внедрения.

Водозаборное сооружение, совмещенное с насосной станцией 1-го подъема предназначено для забора воды из реки Абин и подачи ее в пруд-накопитель и к насосной станции 2-го подъема. В свою очередь, насосная станция 2-го подъема подает воду непосредственно на участок капельного орошения ООО «Южные Земли» для кластера 1,2 площадью 118,6га (нетто).

Обоснован необходимый состав ГТС, которые в полной степени удовлетворяют заданные эксплуатационные характеристики оросительной системы. К ним относятся: водозабор с промывкой; насосная станция 1-го подъема; береговой колодец; пруд-накопитель объемом 160 тыс. м<sup>3</sup>; насосная станция 2-го подъема; магистральная сеть трубопроводов.

Форма внедрения. Завершенный проект системы капельного орошения сада в ООО «Южные Земли» на площади 309га.

Новизна результатов внедрения. Руслонное водозаборное сооружение, совмещенное с насосной станцией 1-го подъема предназначенное для забора воды из реки Абин при минимальных уровнях с реверсной промывкой водозаборных труб от наносов.

Опытно-промышленная проверка. Исследования, выполненные в 2015-18 гг. в составе мелиоративной системы капельного орошения ООО «Южные Земли» расположенного в Крымском районе Краснодарского края позволяют экономить оросительную воду р. Абин до 20%.

6. Социальный и научно - технический эффект состоит в сокращении срока ввода в эксплуатацию сада, получении дополнительного эколого-экономического эффекта за счет экономии оросительной воды 40 тыс. руб.

от исполнителей:

Кузнецов Е.В.		профессор
Хаджиди А.Е.		доцент
Килиди Х.И.		ст. преподаватель
Куртнезирев А.Н.		ст. преподаватель
Колесниченко К.В.		аспирант

от заказчика:

Онищенко Н.И.		гл. инженер
Пасюк Г.М.		начальник отдела ПТО
Бардин А.А.		инженер ПТО



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ А. В. Петух  
« 1 » 01 2024 г.

## СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс факультета гидромелиорации  
результатов научно-исследовательской деятельности  
старшего преподавателя кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения  
Килиди Харлампия Ивановича

Результаты научных исследований старшего преподавателя кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения Килиди Харлампия Ивановича на тему «Повышение водообеспеченности систем капельного орошения фильтрующими водозаборными сооружениями на горных реках» внедрены в учебный процесс по дисциплине Исследование мелиоративных и водохозяйственных систем по образовательной программе «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» (направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование) на факультете гидромелиорации ФГБОУ ВО «Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина».

Декан факультета гидромелиорации  
д-р технических наук, доцент



М.А. Бандурин

## Приложение Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 732 106** (13) **C1**

(51) МПК

[E02B 9/04 \(2006.01\)](#)[E03B 3/32 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

[E02B 9/04 \(2020.05\)](#); [E03B 3/32 \(2020.05\)](#)(21)(22) Заявка: [2019126244](#), 19.08.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.08.2019Дата регистрации:  
11.09.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.08.2019

(45) Опубликовано: [11.09.2020](#) Бюл. № 26(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2592414 C1, 20.07.2016. RU  
2518456 C2, 10.06.2014. SU 582359 A1,  
30.11.1977. RU 2095524 C1, 10.11.1997. KG  
913 C1, 30.11.2006.

Адрес для переписки:

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,  
Кубанский ГАУ, отдел организации и  
сопровождения научной деятельности

(72) Автор(ы):

Кузнецов Евгений Владимирович (RU),  
Килиди Харлампий Иванович (RU),  
Хаджиди Анна Евгеньевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Кубанский государственный  
аграрный университет имени И.Т.  
Трубилина" (RU)

## (54) Подрусловой фильтрующий водозабор ковшовой конструкции

(57) Реферат:

Изобретение относится к гидротехническому строительству, а именно к водозаборным сооружениям, используемым для забора воды на горных и предгорных участках рек со сложными геологическими условиями. Технический результат - повышение надежности работы ковшовой подрусловой фильтрующей водозаборной конструкции. Подрусловой фильтрующий водозабор содержит водосборный элемент и фильтрующий водоприемник в русле реки. Водосборный элемент выполнен в виде ковша прямоугольного сечения и установлен поперек русла реки в месте отсутствия размыва, в котором размещен фильтрующий водоприемник, выполненный из перфорированных труб равной длины. Начальный участок труб закреплен железобетонным пригрузом. Вокруг труб уложен гравий, поверх которого размещена каменная наброска до уровня дна русла. Внутри труб установлены промывные трубы меньшего диаметра с цилиндрическими насадками, проложенные по центру

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 732 496** (13) **C1**(51) МПК  
**E02B 9/04 (2006.01)**

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

**E02B 9/04 (2020.02)**(21)(22) Заявка: **2019125886**, 15.08.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**15.08.2019**Дата регистрации:  
**17.09.2020**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **15.08.2019**(45) Опубликовано: **17.09.2020** Бюл. № **26**(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **RU 2518456 C2, 10.06.2014. RU**  
**2592414 C1, 20.07.2016. KG 913 C1,**  
**30.11.2006. GEU 20171946 Y, 11.09.2017.**

Адрес для переписки:

**350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,**  
**Кубанский ГАУ, отдел организации и**  
**сопровождения научной деятельности**

(72) Автор(ы):

**Кузнецов Евгений Владимирович (RU),**  
**Килиди Харлампий Иванович (RU),**  
**Куртнезиков Арсен Нариманович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего**  
**образования "Кубанский государственный**  
**аграрный университет имени И.Т.**  
**Трубилина" (RU)**

(54) Способ возведения подруслового фильтрующего водозабора ковшовой конструкции

(57) Реферат:

Изобретение относится к гидротехническому строительству, а именно к водозаборным сооружениям, используемым для забора воды на горных и предгорных участках рек со сложными геологическими условиями. Способ включает устройство водосборного элемента, фильтрующего водоприемника в русле реки и трубчатого водоприемника из перфорированных труб. Водосборный элемент выполняют в виде ковша с прямоугольным сечением и устанавливают поперек русла реки в месте отсутствия размыва. Внутри приемного ковша выполняют фильтрующий водоприемник из гравия, в котором устраивают трубчатый водоприемник. Трубы водоприемника имеют перфорацию на рабочем участке. Внутри перфорированных труб устраивают промывные трубы меньшего диаметра с цилиндрическими насадками. Соединяют перфорированные трубы с водосборным колодцем. Технический результат - повышение надежности и эффективности работы ковшовой подрусловой фильтрующей водозабора в сложных геологических условиях на горных и предгорных участках рек. 4 ил.