

На правах рукописи



**Мингазова Марина Сергеевна**

**Влияние биологически активных кормовых добавок на  
микробиом, продуктивность и обмен веществ у карпа**

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и  
производства продукции животноводства

**Автореферат**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Оренбург – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор  
**Мирошникова Елена Петровна**

Официальные оппоненты: **Ранделин Дмитрий Александрович**,  
доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», факультет «Биотехнологий и ветеринарной медицины», декан

**Гусева Юлия Анатольевна**,  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина», кафедра «Кормление и кормопроизводство», профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Защита диссертации состоится «25» декабря 2024 г. в 12.30 часов на заседании диссертационного совета 24.1.252.01 при ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» по адресу: 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел. 8 (3532) 30-81-70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» и на сайте <http://www.fncbst.ru>, с авторефератом – на сайтах: <http://www.fncbst.ru> и <https://vak.minobrnauki.gov.ru/main>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Завьялов  
Олег Александрович

## 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Последние десятилетия ознаменовались беспрецедентным развитием учения о микробиоме сельскохозяйственных животных, что во многом стало возможным благодаря появлению целого ряда методов изучения таксономического состава микрофлоры. Пристальное внимание к проблеме определяется ролью микрофлоры в сохранении здоровья (Frank D.N. et al., 2007) и формировании продуктивности организма-хозяина (Han G.G. et al., 2016).

Так известно, что кишечная микрофлора влияет на обмен веществ и иммунную систему (Atarashi K. et al., 2011), определяет эффективность энтерального гомеостаза, синтезирует витамины и другие жизненно необходимые вещества (Sergeant M.J. et al., 2014), регулирует состав эндогенных потерь жизненно необходимых элементов (Kvan O. et al., 2015).

В свою очередь состав и жизнедеятельность кишечного микробиома определяется множеством факторов, в том числе диетой (Fisinin V.I. et al., 2016), периодом развития (Wilkinson T.J. et al., 2017), генетикой (Kalliokoski O. et al., 2013). Не так давно в этом контексте стали рассматривать и препараты различных биологически активных веществ и их комплексов (Williams K. et al., 2014), в том числе ультрадисперсных препаратов микроэлементов (Prasad R. et al., 2017) и ингибиторов кворум сенсинга (Duskaev G.K. et al., 2018; Deryabin D.G. et al., 2023), способные оказать положительное действие не только на состав микробиома, но и повысить продуктивность производства за счет улучшения обмена веществ у рыб (Аринжанов А.Е., 2022; Abinaya M. et al., 2023).

**Степень разработанности темы.** Микробиом рыб, пожалуй, остается наименее изученным среди всех видов сельскохозяйственных животных (Youngblut N.D. et al., 2019; Song S.J. et al., 2020). Это значительно сдерживает разработку новых решений по повышению эффективности отрасли, особенно в части разработки и применении новых биологически активных веществ по действию на микрофлору. При этом факты, накопленные наукой по проблеме достаточно противоречивы, особенно в части относительно новых кормовых добавок. В частности, при исследованиях для отдельных ультрадисперсных частиц (УДЧ), показано ощутимое противомикробное действие (Morrill K. et al., 2013), с изменениями в коренных популяциях микробов в кишечнике (Williams K. et al., 2014). Но для отдельных групп УДЧ отмечено ростостимулирующее действие на микрофлору (Laura A. et al., 2016).

Столь же противоречивые результаты получены и в исследованиях с использованием в кормлении животных ингибиторов кворум сенсинга (Duskaev G.K., et al. 2018; Атландерова К.Н., 2020); ферментных препаратов (Крюков В.С. и др., 2021); пробиотиков (Лаптев Г.Ю. и др., 2022; Хайрова И.М. и др., 2024).

Поэтому особый интерес вызывают исследования, направленные на изучение действия новых кормовых добавок на микробиом рыб в связи с продуктивностью и обменом веществ для разработки новых подходов к повышению эффективности использования кормов.

**Цель и задачи исследования** Целью работы, которая выполнялась в соответствии с госбюджетной НИР ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный

университет» (госрегистрация: № 122101100049-1), при финансовой поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550) и тематическим планом научно-исследовательских работ ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-005) (госрегистрация: № АААА-А19-1190402900046-2) являлось изучение влияния ингибиторов кворум сенсинга, препарата ультрадисперсных частиц диоксида кремния и ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх на микробиом, рост, элементный статус, эффективность использования корма и обмен веществ в организме карпа.

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

1. Оценить продуктивность годовиков карпа по показателям роста, составу продукции и эффективности использования корма при использовании в кормлении ферментного препарата, ультрадисперсных частиц диоксида кремния и ингибиторов кворум сенсинга;

2. Исследовать морфологический и биохимический состав крови годовиков при включении в рацион исследуемых кормовых добавок;

3. Изучить влияние исследуемых кормовых добавок на элементный статус карпа;

4. Исследовать действие на таксономический состав микрофлоры кишечника карпа сочетания ферментного препарата, ультрадисперсных частиц диоксида кремния и ингибиторов кворум сенсинга, с оценкой альфа- и бета-разнообразия микробиоты кишечника рыб;

5. Изучить влияние ингибитора кворум сенсинга, пробиотической добавки (*Enterococcus faecium*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus buchneri*, *Propionibacterium freudenreichii* subsp, *Bifidobacterium bifidum*), микроэлементов (Zn, I, Cr, Co) и ультрадисперсных частиц диоксида кремния на продуктивность и конверсию корма карпом в продукцию;

6. Изучить микробиом рыб в связи с элементным статусом, установить корреляцию численности отдельных таксонов микрофлоры с пулами химических элементов в организме.

7. Определить экономический эффект от применения ингибиторов кворум сенсинга бактерий при выращивании карпа в условиях тепловодного садкового хозяйства.

**Научная новизна.** Впервые описано действие ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх на обменный пул токсичных элементов в организме карпа, выявлен факт снижения содержания тяжелых металлов в рыбе (RU 2826314 С1).

Впервые показано ростостимулирующее действие ингибиторов кворум сенсинга ванилина в кормлении карпа при улучшении морфо-биохимических показателей крови.

Впервые в эксперименте описан таксономический состав и выявлены общие закономерности в формировании микрофлоры кишечника карпа на фоне скармливания ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх, Глюкаваморин ГЗх и ванилина. Установлен факт значительного снижения индексов разнообразия Шеннона, Симпсона и замены представителей нормальной кишечной

микробиоты рыб (актиномицеты – род *Aurantimicrobium*, семейство *Microbacteriaceae*, класс *Actinobacteria*, фила *Actinomycetota*; грамотрицательные анаэробные палочки – род *Hydrothalea*, семейство *Chitinophagaceae*, класс *Chitinophagia*, фила *Bacteroidota*; неклассифицированные грамположительные бактерии класса *Bacilli*, фила *Bacillota*) на облигатно анаэробные грамотрицательные бактерии (род *Cetobacterium*, семейство *Fusobacteriaceae*, класс *Fusobacteriia*, фила *Fusobacteriota*) и факультативно анаэробные грамотрицательные палочки (род *Vibrio*, семейство *Vibrionaceae*, и род *Aeromonas*, семейство *Aeromonadaceae*).

Впервые исследовано влияние ванилина, пробиотического препарата, ультрадисперсных частиц диоксида кремния и микроэлементов (Zn, I, Cr, Co) на концентрацию 49 химических элементов в мышечной ткани карпа (Ca, K, Mg, Na, P, Li, B, Si, S, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Se, Mo, Ag, I, Au, Be, Al, Ti, Ga, As, Rb, Sr, Zr, Nb, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Sm, W, Pt, Hg, Tl, Pb, Bi, U).

**Теоретическая значимость** состоит в разработке и апробации гипотезы ростостимулирующего действия ванилина как ингибитора кворум сенсинга на организм карпа. Теоретически обоснованы и проведены исследования, подтверждающие тесную зависимость обмена химических элементов в организме карпа от таксономического состава микрофлоры кишечника, что выражалось проявлениями корреляционных связей численности отдельных родов и размера обменных пулов элементов. В частности, численность *Cetobacterium* положительно, а численность *Cutibacterium* отрицательно коррелировали с уровнем Zn, Fe, I и Mn. Тогда как численность *Aeromonas* и *Caulobacter* обратно коррелировала с концентрациями Pb, Hg и прямо – с Se ( $r=0,65$ ).

**Практическая значимость работы** заключается в создании новых подходов к применению ванилина в составе полнорационных комбикормов для использования в условиях тепловодного садкового хозяйства, что позволяет повысить прирост живой массы карпа на величину 6–7 % и увеличить сохранность рыбы на 4 %. Достижение этих результатов возможно при снижении расхода корма на 1 кг прироста на 8,5 %, что обеспечивает повышение прибыли при повышении рентабельности производства на 6–7 %.

**Методология и методы исследования.** В процессе эксперимента применялись стандартные зоотехнические, физиологические и биохимические методы исследования с применением материально-технической базы кафедры БЖСиА ОГУ и ЦКП ФНЦ БСТ РАН. Полученные результаты были обработаны с помощью программного пакета «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

– включение в рацион годовиков карпа препаратов – ванилина и УДЧ SiO<sub>2</sub> позволяет повысить интенсивность роста рыбы, что сопровождается изменениями в составе продукции;

– использование ванилина, ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх, УДЧ SiO<sub>2</sub> в кормлении приводит к качественному и количественному изменению состава микробиома кишечника карпа;

– состав микробиома кишечника селективно связан с элементным

статусом рыб, что выражается в корреляции между численностью некоторых таксонов микроорганизмов кишечника и пулом химических элементов;

– включение в рацион карпа ванилина и УДЧ SiO<sub>2</sub> сопровождалось снижением величины кормового коэффициента и повышением эффективности трансформации сырого протеина и энергии в продукцию;

– использование ванилина в кормлении карпа в условиях тепловодного садкового хозяйства экономически выгодно.

**Степень достоверности и апробация работы.** Положения, сформированные в научной работе, выводы и предложения согласуются с результатами собственных проведенных исследований. Основные результаты работы вынесены и обсуждены на заседаниях кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и отдела кормления сельскохозяйственных животных им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук».

Результаты научной работы доложены на научно-практических и научно-методических конференциях: Всероссийская научно-методическая конференция «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» (Оренбург, 2024); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии» (Оренбург, 2023, 2024); VIII Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации» (Керчь, 2023); II Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Наука будущего – наука молодых» (Оренбург, 2023), Международная конференция «Будущее аквакультуры. Прогрессивные биотехнологии» (Саратов, 2024), Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы и инновации в животноводстве» (Оренбург, 2024), VI Международная научно-практическая конференция «Биоэлементы» (Оренбург, 2024).

**Публикация материалов исследований.** Основные результаты, выводы и рекомендации диссертационного исследования представлены в 15 научных работах, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 патент РФ на изобретение.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований внедрены в производство ООО «Ирикла-рыба» при выращивании карповых видов рыб.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 158 страницах компьютерной верстки, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием материалов и методов исследований, главы собственных исследований, обсуждения полученных результатов, выводов, предложений производству и перспектив дальнейшей разработки. Содержит 26 таблиц, 27 рисунков, 2 приложения. Список использованной литературы включает 308 источников, в том числе 196 зарубежных авторов.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в период с 2022 по 2024 год на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». На первом этапе изучена рост, биохимические показатели крови, обмен веществ, микробиом, элементный статус при использовании в кормлении карпа ферментного препарата Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх совместно с ингибиторами кворум сенсинга (ванилин) и препаратом ультрадисперсных частиц (УДЧ) SiO<sub>2</sub>. На втором этапе изучено влияние ингибиторов кворум сенсинга, УДЧ SiO<sub>2</sub>, пробиотического препарата и комплекса микроэлементов (Zn, I, Cr, Co) на рост, биохимические показатели крови, обмен веществ, элементный статус карпа и др. На третьем этапе проведена производственная проверка полученных результатов.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996).

Лабораторные исследования проходили при использовании материально-технической базы кафедры БЖСиА ОГУ <http://www.osu.ru/doc/652/kafedra/6436/info/8> и Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН (ЦКП ФНЦ БСТ РАН) <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/77384/>.

В качестве объекта исследования были использованы годовики карпа (*Cyprinus carpio*). Рыба была получена из рыбоводного цеха ООО «Ирикларьба» (Оренбургская обл., Новоорский р-н, п. Энергетик, <http://iryba.ru/>). Рыб содержали в аквариумах объемом 300 л, оснащенных системой фильтрации и насыщения воды кислородом. Температура воды – 20±2 °С (I эксперимент) и 25±2 °С (II эксперимент).

В ходе I эксперимента были отобраны 150 годовиков карпа средней массой 33±1 г и методом пар-аналогов сформированы шесть групп по 25 особей в каждой (табл. 1).

Первоначальная дозировка и всесторонняя оценка безопасности применения кормовых добавок были определены на основе экспериментов, проведенных в рамках грантов Российского научного фонда: 22-26-00281 (руководитель Мирошникова Е.П., исполнитель Мингазова М.С., 2022–2023 гг., <https://www.rscf.ru/project/22-26-00281/>); 23-76-10054 (руководитель Аринжанов А.Е., исполнитель Мингазова М.С., 2023–2026 гг., <https://rscf.ru/project/23-76-10054/>); 22-16-00036 (руководитель Дускаев Г.К., 2022–2025 гг., <https://rscf.ru/project/22-16-00036/>) и с учетом проводимых ранее исследований (Барабаш А.А. и др., 2006; Pelusio N.F. et al., 2020; Аринжанова М.С. и др., 2022; Дускаев Г.К. и др., 2023).

Табл. 1 – Схема I эксперимента

Группа	Период исследования	
	Подготовительный (7 суток)	Основной учетный (56 суток)
Контроль	ОР	ОР
I опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга
II опытная		ОР + ФП
III опытная		ОР + УДЧ SiO <sub>2</sub>
IV опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + УДЧ SiO <sub>2</sub>
V опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + УДЧ SiO <sub>2</sub> + ФП

Примечание:

- ОР – основной рацион – комбикорм КРК-110-1 (<http://orenkz.ru/krk-110.html>);
- ингибитор кворум сенсинга – ванилин в дозировке 250 мг/кг корма;
- ФП – ферментные препараты Амилосубтилиин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх в дозировке по 0,5 г/кг корма;
- УДЧ SiO<sub>2</sub> – ультрадисперсные частицы SiO<sub>2</sub> в дозировке 200 мг/кг корма.

При планировании исследований мы опирались на экспериментальные данные об анти-кворум активности ванилина (Ponnusamy K. et al., 2009; Ting D., Yong L., 2020; Deryabin D.G. et al., 2023).

На основании полученных результатов был проведен II эксперимент. В ходе II эксперимента методом пар-аналогов были отобраны 72 годовиков карпа средней массой 97±2 г и сформированы восемь групп по 9 особей в каждой (табл. 2).

Табл. 2 – Схема II эксперимента

Группа	Период исследования	
	Подготовительный (7 суток)	Основной учетный (42 суток)
Контроль	ОР	ОР
I опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга
II опытная		ОР + ПД
III опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + ПД
IV опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + ПД + МЭ
V опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + УДЧ SiO <sub>2</sub> + ПД
VI опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + УДЧ SiO <sub>2</sub> + МЭ
VII опытная		ОР + ингибитор кворум сенсинга + УДЧ SiO <sub>2</sub> + ПД + МЭ

Примечание:

- ОР – основной рацион – комбикорм КРК-110-1 (<http://orenkz.ru/krk-110.html>);
- ингибитор кворум сенсинга – ванилин в дозировке 25 мг/кг корма;
- ПД – пробиотическая добавка на основе штаммов *Enterococcus faecium* (2x10<sup>10</sup> КОЕ), *Lactobacillus plantarum* (1x10<sup>5</sup> КОЕ), *Lactobacillus buchneri* (1x10<sup>5</sup> КОЕ), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2x10<sup>8</sup> КОЕ), *Bifidobacterium bifidum* (1x10<sup>9</sup> КОЕ) в дозировке 1 г/кг корма;
- МЭ – микроэлементы в составе Zn+I+Cr+Co в дозировках: Zn – 20 мг/кг корма, I – 0,6 мг/кг корма, Cr – 2 мг/кг корма, Co – 2 мг/кг корма.
- УДЧ SiO<sub>2</sub> – ультрадисперсные частицы SiO<sub>2</sub> в дозировке 200 мг/кг корма.

На заключительном этапе исследований была проведена производственная проверка полученных результатов.



В исследованиях использовались препараты: ванилин («Sigma-Aldrich», Сент-Луис, США); ферментные препараты Амилосубтилин ГЗх и (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск, Россия) и Глюкаваморин ГЗх (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск, Россия); УДЧ SiO<sub>2</sub> (ИП Хисамутдинов Р.А., Россия); пробиотическая добавка (ООО Биотехнологическая фирма «Компонент», г. Бугуруслан, Россия) на основе штаммов *Enterococcus faecium* (2x10<sup>10</sup> КОЕ), *Lactobacillus plantarum* (1x10<sup>5</sup> КОЕ), *Lactobacillus buchneri* (1x10<sup>5</sup> КОЕ), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2x10<sup>8</sup> КОЕ), *Bifidobacterium bifidum* (1x10<sup>9</sup> КОЕ); цитрат цинка (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия); калия йодид (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия); пиколинат хрома (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия); кобальт хлорида (ООО «НПК «Асконт+», г. Серпухов, Россия).

Контроль над живой массой годовиков осуществлялся еженедельно утром до кормления путем индивидуального взвешивания ( $\pm 1$  г) с последующим расчетом по Мирошниковой Е.П., Жаркову А.Н. (2003). Определение химического состава тканей подопытной рыбы было проведено в Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН при использовании ГОСТ 9793-2016, ГОСТ 23042-2015 и ГОСТ 25011-2017.

Изучение конверсии сырого протеина и энергии корма в продукцию в организме подопытной рыбы изучали по методике Левахина В.И. и др. (1999).

Отбор крови проведен согласно «Методическим указаниям по проведению гематологического обследования рыб №13-4-2/1487» (Минсельхоз России 02.02.1999 г.). Гематологические исследования проведены в Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015 г.).

Анализ элементного состава мышечной ткани карпа (от 25 до 49 химических элементов) выполнен в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» г. Москва (лицензия МДКЗ 18097/9556) с использованием квадрупольного масс-спектрометра Nexion 300D («Perkin Elmer», США).

Таксономический состав микрофлоры кишечника карпа изучался на базе Центра коллективного пользования «Персистенция микроорганизмов» ФГБУН ИКВС Уро РАН (г. Оренбург) <https://ckp-rf.ru/ckp/351815/>.

Статистический анализ проведен путем сравнения опытных групп с контролем с использованием пакета программ «Excel» («Microsoft», США) и «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Значение с  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  и  $P \leq 0,001$  считается статистически значимым. Коэффициенты корреляции рассчитывались по Спирмену.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 Результаты I эксперимента

**Рост и развитие подопытного карпа.** В I опытной группе статистически значимая разница по живой массе была отмечена, начиная с шестой недели, и превышала контроль на 7,1 % ( $P \leq 0,05$ ), 7,6 % ( $P \leq 0,05$ ) и 7,2 % ( $P \leq 0,05$ ) с шестой по восьмую недели эксперимента соответственно (рис. 1). Во II опытной группе статистически значимая разница по живой массе была установлена только на

седьмой и восьмой неделе, превысив контрольные значения на 6,5 % ( $P \leq 0,05$ ) и 5,2 % ( $P \leq 0,05$ ). В III опытной группе с шестой недели исследования живая масса превышала контрольные значения на 8,2 % ( $P \leq 0,05$ ), 7,8 % ( $P \leq 0,05$ ) и 7,2 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно.

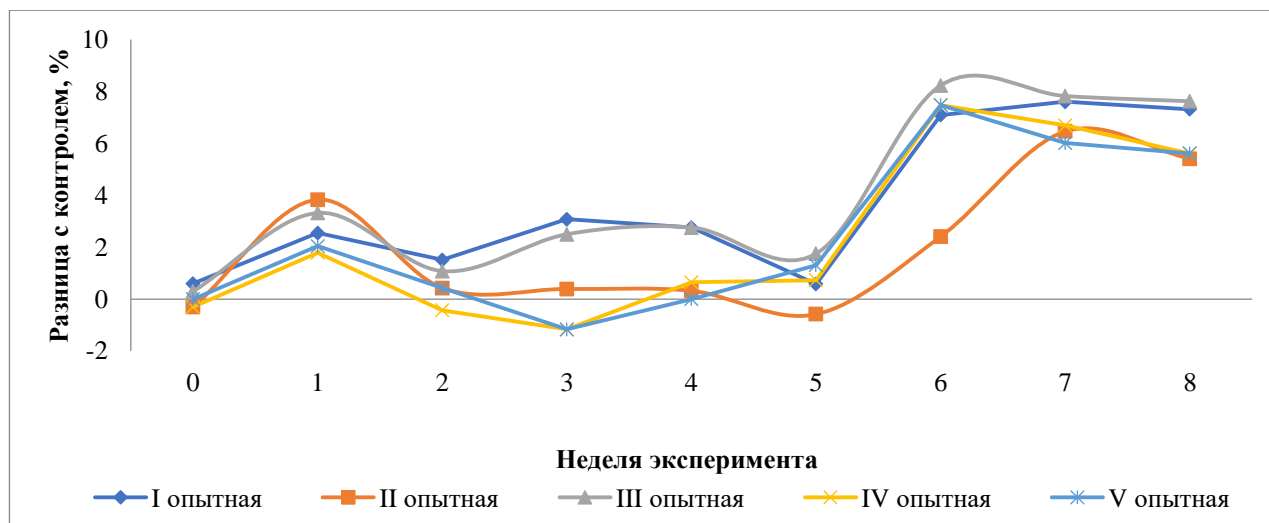


Рис. 1 – Разница живой массы в опытных группах относительно контроля, %

Рост в IV и V опытных группах превышал контроль на 7,5 % ( $P \leq 0,05$ ) на шестой неделе. На седьмой неделе – на 6,7 % ( $P \leq 0,05$ ) и 6 % ( $P \leq 0,05$ ) в IV и V опытных группах. При этом в конце исследования разница по росту между группами и контролем составила 5,2 % ( $P \leq 0,05$ ).

**Морфологические и биохимические показатели крови карпа.** Анализ морфологического состава крови карпа показал отличительные результаты по содержанию гемоглобина в V группе, где уровень гемоглобина превысил контроль на 17,5 % ( $P \leq 0,05$ ). В сыворотке крови карпов I опытной группы наблюдалось увеличение мочевины на 27,3 % ( $P \leq 0,05$ ), холестерина на 26,7 % ( $P \leq 0,05$ ), аспартатаминотрансферазы (АСТ) на 34,8 % ( $P \leq 0,001$ ), общего белка на 44,6 % ( $P \leq 0,01$ ), альбумина на 63,7 % ( $P \leq 0,01$ ), при снижении уровня глюкозы на 10,5 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля. В сыворотке крови карпов II опытной группы установлено повышение триглицеридов на 64,2 % ( $P \leq 0,05$ ), билирубина общего на 66,3 % ( $P \leq 0,01$ ), при снижении АСТ на 22,6 % ( $P \leq 0,01$ ), мочевины на 40,9 % ( $P \leq 0,01$ ) и глюкозы на 42,1 % ( $P \leq 0,01$ ). Для III опытной группы зафиксировали увеличение мочевины на 36,4 % ( $P \leq 0,05$ ), креатинина на 71,4 % ( $P \leq 0,05$ ) и билирубина общего на 90,5 % ( $P \leq 0,01$ ). При этом снижались уровни показателей АСТ, глюкозы и АЛТ на 29,1 % ( $P \leq 0,01$ ), 41,1 % ( $P \leq 0,01$ ) и 56,5 % ( $P \leq 0,01$ ) соответственно. В IV опытной группе установлено снижение АЛТ – на 53,3 % ( $P \leq 0,01$ ) при повышении уровня билирубина общего на 30 % ( $P \leq 0,01$ ) и креатинина на 71,4 % ( $P \leq 0,05$ ). В V опытной группе было выявлено снижение уровня АЛТ – на 51,3 % ( $P \leq 0,01$ ), АСТ – на 34,2 % ( $P \leq 0,01$ ) и мочевины – на 50 % ( $P \leq 0,01$ ).

**Пищевая ценность и химический состав тканей тела карпа.** Выявлено, что содержание белка в организме карпа достоверно превышало контрольные значения во II, III и IV опытных группах – на 5,1 % ( $P \leq 0,05$ ), 6,6 % ( $P \leq 0,05$ ) и 5,9 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно. Энергетическая ценность в опытных группах превышала контрольные значения до 4 %.

**Элементный состав мышечной ткани карпа.** По данным I эксперимента была выявлена общая тенденция к снижению концентрации макро- и микроэлементов в опытных группах в сравнении с контролем. Исследуя достоверные изменения в концентрации химических элементов в опытных группах по отношению к контролю, мы сформировали элементный профиль (ЭП) этих групп:

$$\text{ЭП (I)} = \frac{\uparrow \text{Mn, Cd}}{\downarrow \text{K, P, B, Co, Cr, Li, Ni, Si, Zn, Al, Be, Hg, Pb, Sn}}$$

$$\text{ЭП (II)} = \frac{\uparrow -}{\downarrow \text{Ca, B, Co, Cr, I, Li, Ni, Si, Zn, Al, Be, Cd, Hg, Pb}}$$

$$\text{ЭП (III)} = \frac{\uparrow \text{Sn}}{\downarrow \text{B, Co, Cr, Fe, I, Li, Ni, Si, Zn, Al, As, Be, Cd, Hg, Pb}}$$

$$\text{ЭП (IV)} = \frac{\uparrow -}{\downarrow \text{Cr, Fe, Li, Ni, Si, Zn, Al, As, Be, Pb, Sn}}$$

$$\text{ЭП (V)} = \frac{\uparrow \text{V}}{\downarrow \text{Li, Ni, Zn, As, Pb, Sn}}$$

Совокупное содержание химических элементов в мышечной ткани карпа в опытных группах в основном снижалась. Так, макроэлементы в опытных группах снижались до 171 ммоль/кг ( $P \leq 0,05$ ), за исключением II группы, где отмечалось повышение. Совокупность эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов в опытных группах снижалась до 0,41 ммоль/кг ( $P \leq 0,05$ ). Наибольшее снижение было установлено для токсических элементов и составляло от 12,5 до 81,3 % ( $P \leq 0,01$ ).

**Таксономический состав микрофлоры кишечника карпа.** По данным высокопроизводительного секвенирования тотальной ДНК, выделенной из кишечника карпа контрольной и опытных групп, установлено широкое разнообразие кишечной микробиоты. Выявлены представители 12 бактериальных фил *Actinomycetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Campilobacterota*, *Cyanobacteria\_Chloroplast*, *Fusobacteriota*, *Gemmatimonadota*, *Planctomycetota*, *Pseudomonadota*, *Spirochaetota*, *Thermodesulfobacteriota*, *Verrucomicrobia*, и неклассифицированные представители *Bacteria*.

Индекс разнообразия Шеннона снижался до 1,37–1,51 в I опытной группе и до 1,14–1,33 в V опытной группе (в контроле – 1,69–2,51), а индекс разнообразия Симпсона снижался до 0,69–0,71 в I опытной группе и до 0,64–0,66 – в V опытной группе (в контроле – 0,73–0,89) (рис. 2).

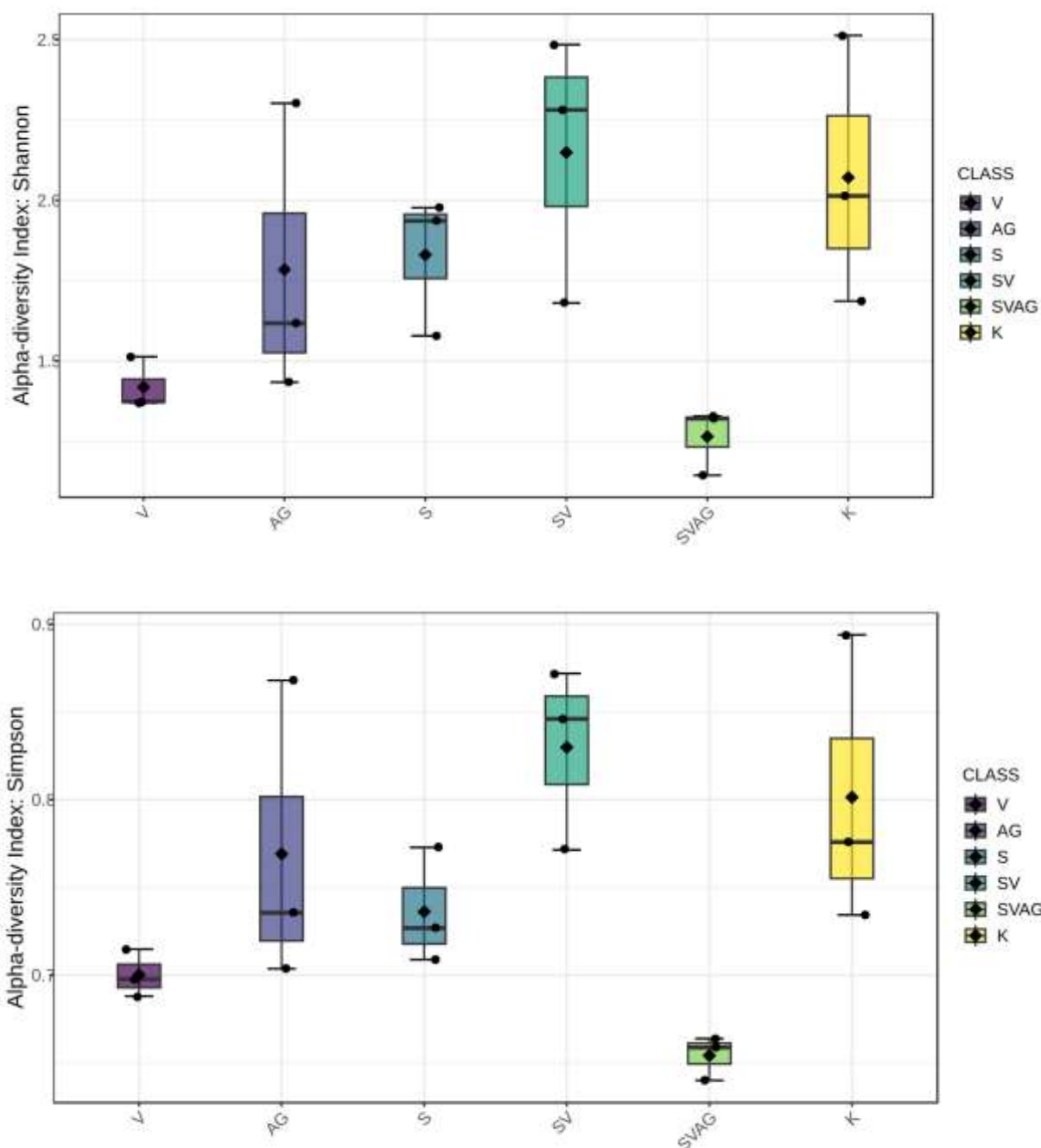


Рис. 2 – Индексы разнообразия Шеннона (I) и Симпсона (II)  
 Здесь и далее: группы: V – I опытная, AG – II опытная, S – III опытная,  
 SV – IV опытная, SVAG – V опытная, K – контроль

На 3D диаграмме ординации (рис. 3) на основе дистанций Брея-Кёртиса явно выделяется кластер №1, максимально удаленный от контрольных образцов, образованный точками, соответствующими образцам рыб, получавших ванилин, или ферментные препараты Амилосубтилин и Глюкаваморин – два образца из трех, или комплекс из ванилина, УДЧ SiO<sub>2</sub> и ферментных препаратов Амилосубтилин и Глюкаваморин. В то же время, образцы кишечной микробиоты рыб III опытной или IV опытной, а также один образец из II опытной группы, отличались незначительно от контрольных образцов, формируя кластер №2.

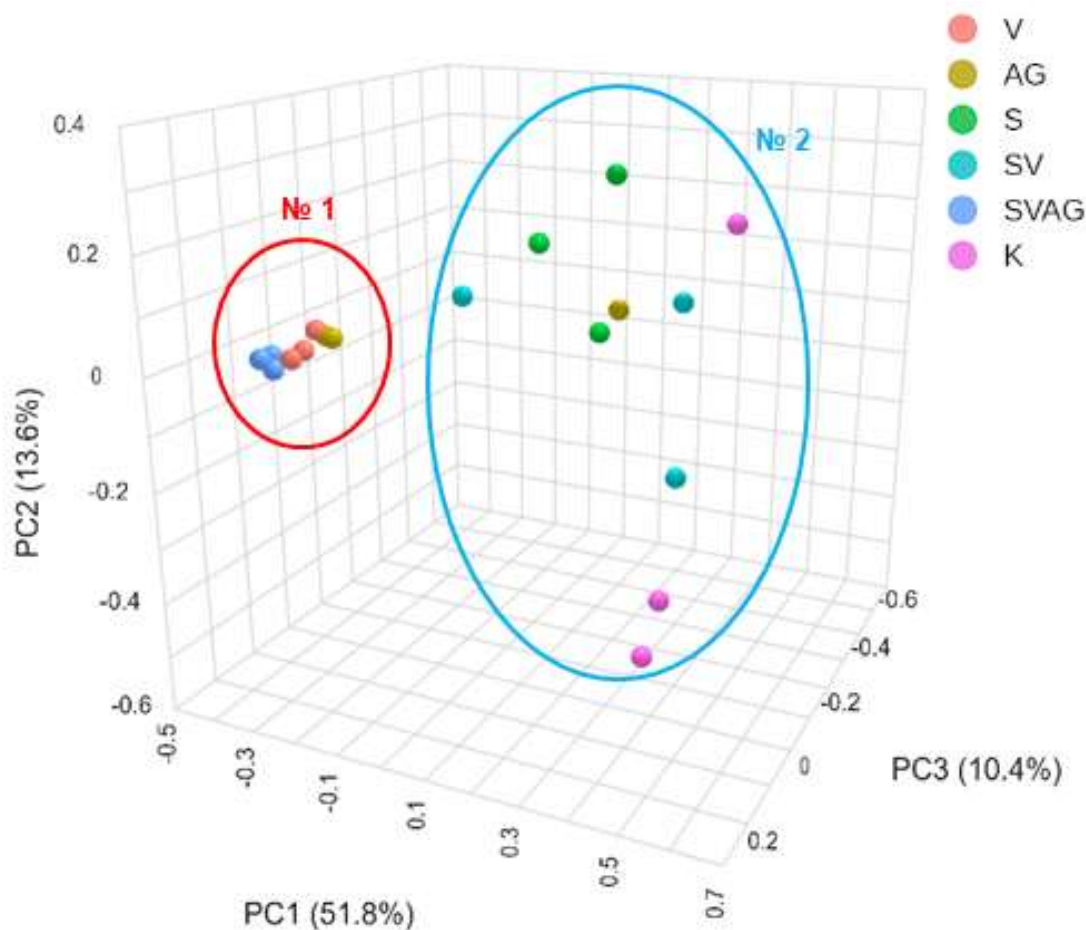


Рис. 3 – 3D диаграмма ординации кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп, построенная методом главных координат на основе дистанций Брея-Кёртиса

В микробиоте кишечника на уровне родов (рис. 4) рыб I группы доминировали *Aeromonas* (23,39–34,07 %), *Cetobacterium* (21,72–40,65 %) и *Vibrio* (23,28–41,62 %), бактерии рода *Polynucleobacter* полностью исчезли из сообществ в группе. В микробиоте кишечника рыб II группы доминировали *Aeromonas* (34,87–35,74 %), *Cetobacterium* (21,10–24,26 %), и *Vibrio* (26,78–35,83 %). На уровне родов в III группе изменились доли, но сохранилось доминирование родов *Aurantimicrobium*, *Hydrotalea*, *Polynucleobacter*, *Pseudoaeromonas*, *Schlegelella* и неклассифицированных *Firmicutes*, добавился новый доминирующий род *Aeromonas* (10,76–50,18 %). В микробиоте кишечника рыб IV группы резко снизилась доля *Polynucleobacter* до 0–2,31 %, снизилась доля *Aurantimicrobium* до 2,03–17,87 %, возросла доля *Caulobacter* до 3,23–17,24 %, и *Schlegelella* до 11,87–36,48 %. В микробиоте V группы доминировали *Aeromonas* (23,28–25,24 %), *Cetobacterium* (23,06–47,84 %), и *Vibrio* (22,92–48,44 %). Бактерии рода *Cutibacterium* исчезли из сообществ V опытной группы.

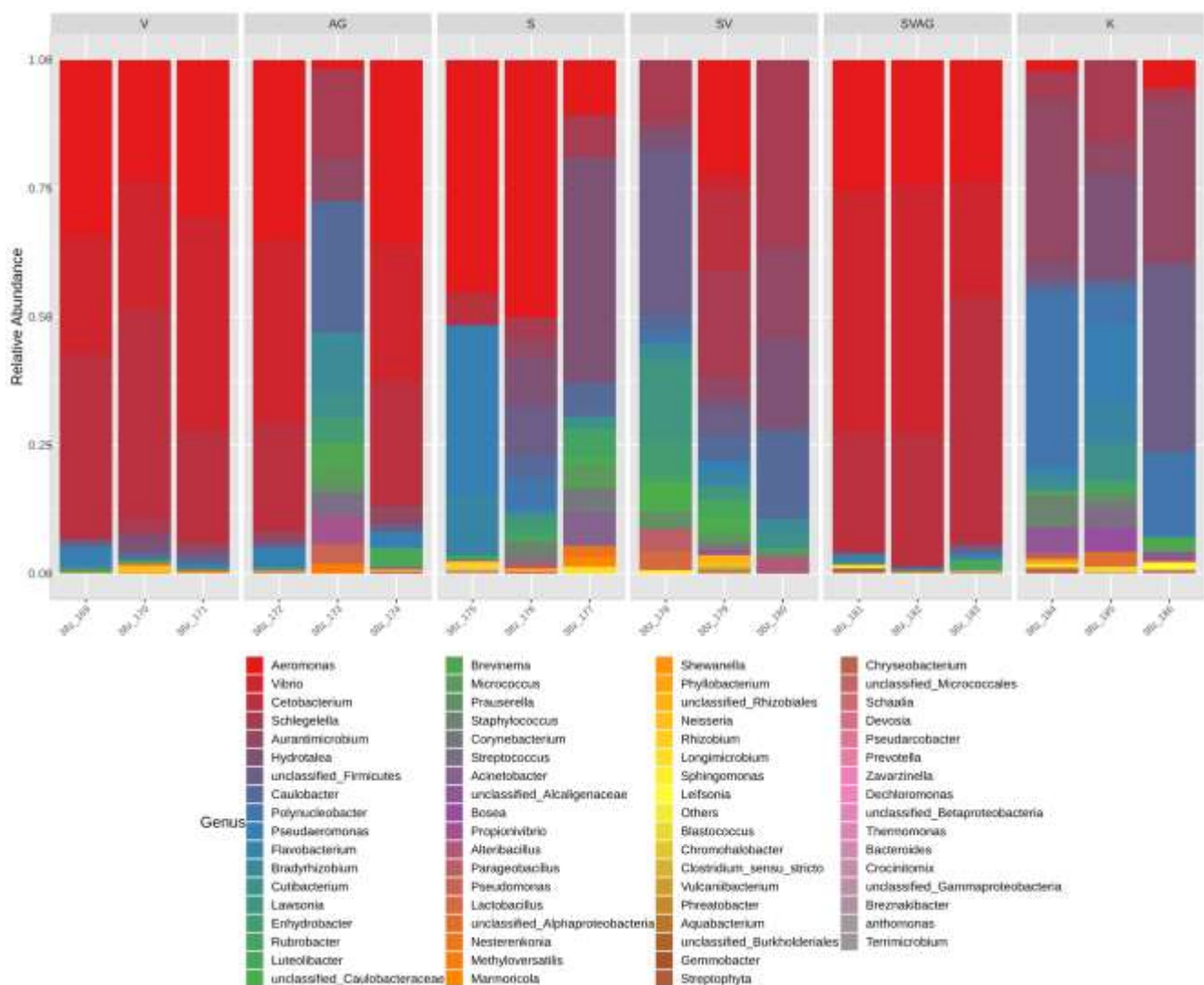


Рис. 4 – Таксономический состав на уровне родов

При введении в рацион рыб биологически активных добавок численность таксонов коррелировала с химическим составом мышечной ткани (рис. 5). Так, численность *Aeromonas* обратно коррелировала с концентрациями Pb ( $r=-0,72$ ) и Hg ( $r=-0,76$ ) и прямо – с Se ( $r=0,65$ ). Численность *Caulobacter* прямо коррелировала с показателями Se ( $r=0,65$ ), и отрицательная корреляция установлена для Hg ( $r=-0,76$ ) и Pb ( $r=-0,72$ ). Численность рода *Flavobacterium* отразилось прямо пропорционально на элементы Se ( $r=0,72$ ), Sn ( $r=0,87$ ) и обратно пропорционально – на As ( $r=-0,88$ ). Род *Hydrotalea* оказывает обратное действие на корреляцию в отношении содержания Zn ( $r=-0,77$ ), Fe ( $r=-0,75$ ), Al ( $r=-0,76$ ), As ( $r=-0,90$ ) и прямое – на Sn ( $r=0,78$ ). Похожий эффект был выявлен в отношении корреляционной численности рода *Polynucleobacter*.

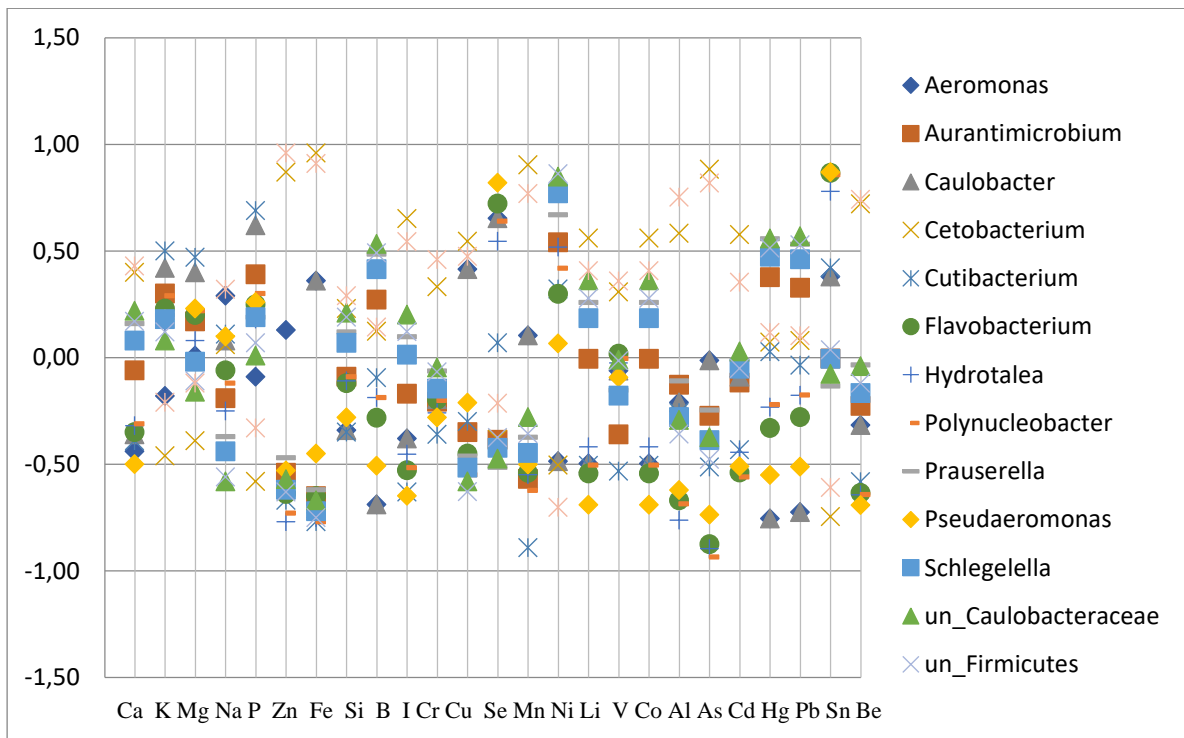


Рис. 5 – Корреляционная численность таксонов и накопления химических элементов

Численность рода *Pseudoaeromonas* прямо коррелировала с содержанием Se ( $r=0,82$ ) и Sn ( $r=0,87$ ), и обратно – As ( $r=-0,74$ ). Также корреляционное отклонение было установлено для численности *Shewanella*, где корреляция была отмечена только по отношению к Fe ( $r=-0,72$ ) и Ni ( $r=0,77$ ). При этом наименьшие корреляционные различия были зафиксированы для численности неклассифицированных *Caulobacteraceae* и неклассифицированных *Firmicutes* по отношению к Ni ( $r=0,85$ ;  $r=0,86$ , соответственно). Численность рода *Vibrio* прямо коррелировало с Zn ( $r=0,96$ ), Fe ( $r=0,91$ ), Mn ( $r=0,77$ ), Al ( $r=0,75$ ), As ( $r=0,82$ ), Be ( $r=0,74$ ), обратная корреляция была отмечена только по отношению к Ni ( $r=-0,70$ ).

**Эффективность использования комбикорма.** В ходе исследований установлено, что величина кормовой коэффициент в опытных группах снижалась от 4,5 до 6,1 % по сравнению с контролем (табл. 3).

Табл. 3 – Эффективность использования корма подопытной рыбой

Показатель	Группа					
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Кормовой коэффициент	2,46	2,31	2,33	2,32	2,34	2,35
Конверсия протеин, %	20,2	23,0	23,2	23,3	22,9	22,0
Конверсия энергия, %	10,9	11,7	11,4	11,7	11,5	11,5

Наименьшая конверсия протеина корма оказалась в контрольной группе, которая была ниже опытных значений на 1,8–3,1%. Эффективность трансформации энергии в опытных группах превышала контроль до 0,8 %.

### 3.2 Результаты II эксперимента

**Рост и развитие подопытной рыбы.** В I группе на третьей и пятой неделе живая масса была выше контроля на 7,7 ( $P \leq 0,05$ ) и на 6,8 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно (рис. 6). Максимальный прирост – на 10,2 % ( $P \leq 0,01$ ). Во II опытной группе на пятой неделе масса была выше контроля на 6,8 % ( $P \leq 0,05$ ), на шестой – на 7,3 % ( $P \leq 0,01$ ). В IV группе максимальный прирост был на 7,9 % ( $P \leq 0,01$ ) выше контроля. В VI группе отличие от контроля составило до 7,9 % ( $P \leq 0,01$ ). В VII группе – на 6,8 % ( $P \leq 0,05$ ). В III и V группах отмечено снижение роста карпа до 19,6 % ( $P \leq 0,001$ ) в течение исследования.

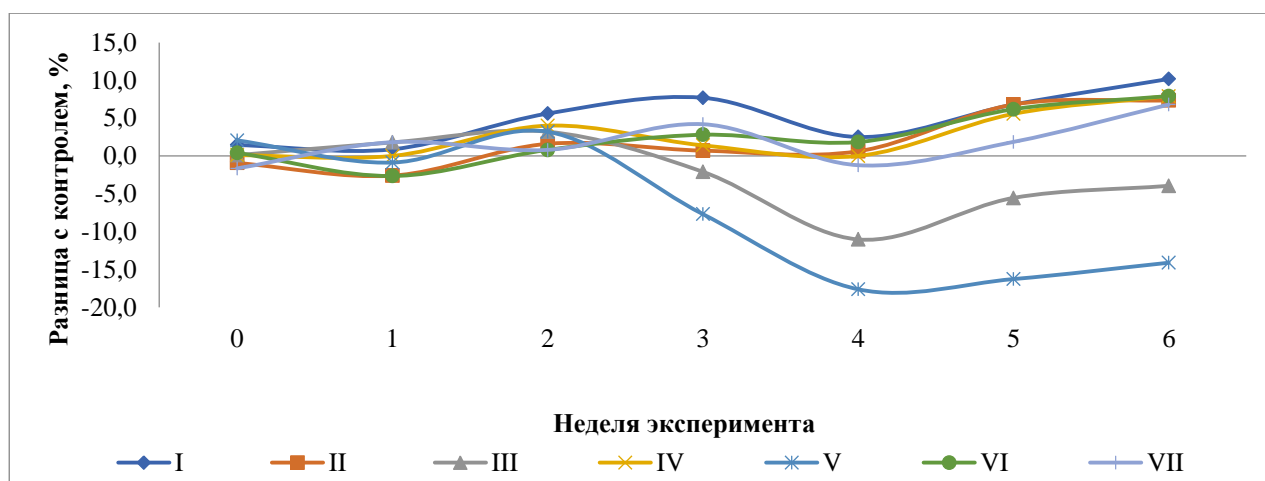


Рис. 6 – Разница живой массы в опытных группах относительно контроля, %

**Морфологические и биохимические показатели крови карпа.** Уровень гемоглобина повышался у рыб в I, II, IV и V группах – на 4,5 % ( $P \leq 0,05$ ), 3,7 % ( $P \leq 0,05$ ), 11,9 % ( $P \leq 0,01$ ) и 4,5 % ( $P \leq 0,05$ ). В III, VI и VII группах показатель снижался на 6 % ( $P \leq 0,05$ ), 3,7 % ( $P \leq 0,05$ ) и 20,1 % ( $P \leq 0,001$ ) соответственно. В VII группе зафиксировано снижение лейкоцитов на 12,4 % ( $P \leq 0,05$ ).

Содержание глюкозы во всех опытных группах повышалось до 48,5 % ( $P \leq 0,05$ ). В I группе отмечено повышение общего белка – на 10,9 % ( $P \leq 0,05$ ), АСТ – на 46,3 % ( $P \leq 0,001$ ), мочевины – на 133 % ( $P \leq 0,01$ ). Во II группе зафиксировано увеличение общего белка – на 11,9 % ( $P \leq 0,05$ ), АЛТ – на 53,4 % ( $P \leq 0,001$ ), АСТ – на 56,7 % ( $P \leq 0,001$ ), билирубина общего – на 112 % ( $P \leq 0,05$ ), холестерина – на 129 % ( $P \leq 0,01$ ). Для III группы было установлено повышение общего белка – на 11,4 % ( $P \leq 0,05$ ), АСТ – на 27,8 % ( $P \leq 0,01$ ), билирубина общего – на 66 % ( $P \leq 0,05$ ). В IV группе зафиксировано только увеличение АСТ – на 23,5 % ( $P \leq 0,05$ ), и триглицеридов – на 129 % ( $P \leq 0,05$ ), при снижении билирубина общего на 65 % ( $P \leq 0,05$ ). В V группе установлено повышение общего белка – на 23,3 % ( $P \leq 0,01$ ), АЛТ – на 44,9 % ( $P \leq 0,01$ ), АСТ – на 58,4 %



( $P \leq 0,001$ ), холестерина – на 48,5 % ( $P \leq 0,05$ ) и мочевины – на 63,5 % ( $P \leq 0,05$ ). Для VI группы зафиксировано повышение общего белка и АСТ на 15 % ( $P \leq 0,05$ ) и 65,6 % ( $P \leq 0,001$ ). В VII группе установлено повышение уровня АЛТ, АСТ и триглицеридов – на 31,0 % ( $P \leq 0,01$ ), 54,3 % ( $P \leq 0,01$ ) и 129 % ( $P \leq 0,05$ ) при снижении мочевины на 50,6 % ( $P \leq 0,05$ ).

**Пищевая ценность и химический состав тканей тела карпа.** Содержание белка достоверно отличается в IV группе (выше контроля на 7,9 % ( $P \leq 0,05$ )), содержание влаги – в V группе (ниже контроля на 4,1 % ( $P \leq 0,05$ )). Содержание жира в опытных группах было выше контрольного значения от 15,2 % ( $P \leq 0,05$ ) до 51,5 % ( $P \leq 0,001$ ). Во всех группах установлено повышение энергетической ценности мяса от 4,3 % до 18,2 %, за исключением II группы (снижение энергетической ценности на 1,6 % относительно контроля).

**Элементный состав мышечной ткани карпа.** В ходе исследований установлен факт повышения содержания жизненно–необходимых химических элементов в мышечной ткани опытных карпов при снижении токсических. Достоверные различия в опытных группах относительно контроля сформированы в элементный профиль (ЭП):

$$\text{ЭП (I)} = \frac{\uparrow \text{Ca, Na, Fe, Ni, Mo, Ag, Sr, Ba}}{\downarrow \text{Zr, Sn, Sb, Pt, Bi}}$$

$$\text{ЭП (II)} = \frac{\uparrow \text{Ca, Na, S, Se, I, Al, Sb}}{\downarrow \text{Cr, Rb, Sr, Zr, Sn, Ba, Pt, Bi}}$$

$$\text{ЭП (III)} = \frac{\uparrow \text{Na, Al, Zr, Ba}}{\downarrow \text{Cr, Sn, Sb, Pt, Bi}} \quad \text{ЭП (IV)} = \frac{\uparrow \text{Na, S, Fe,}}{\downarrow \text{B, Se, Mo, Sn, Pt}}$$

$$\text{ЭП (V)} = \frac{\uparrow \text{K, Na, S, Zr}}{\downarrow \text{B, Se, Mo, Sr, Sn, Sb}} \quad \text{ЭП (VI)} = \frac{\uparrow \text{K, Na, S,}}{\downarrow \text{B, Se, Sn, Sb, Hg}}$$

$$\text{ЭП (VII)} = \frac{\uparrow \text{Ca, Na, S, Cr, Mn, Fe, Mo, Sr, Ba}}{\downarrow \text{B, Se, Sn, Sb, Hg}}$$

Исследование совокупности химических элементов в тканях карпа показало, что содержание макроэлементов в опытных группах повышается, за исключением IV группы. В то же время совокупность количества эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов повышается во всех опытных группах по сравнению с контролем. Токсические элементы в группах остаются неизменными в опытных группах или незначительно снижаются, исключение – III опытная группа, где отмечалось повышение на 0,05 ммоль/кг ( $P \leq 0,05$ ) (рис. 7).

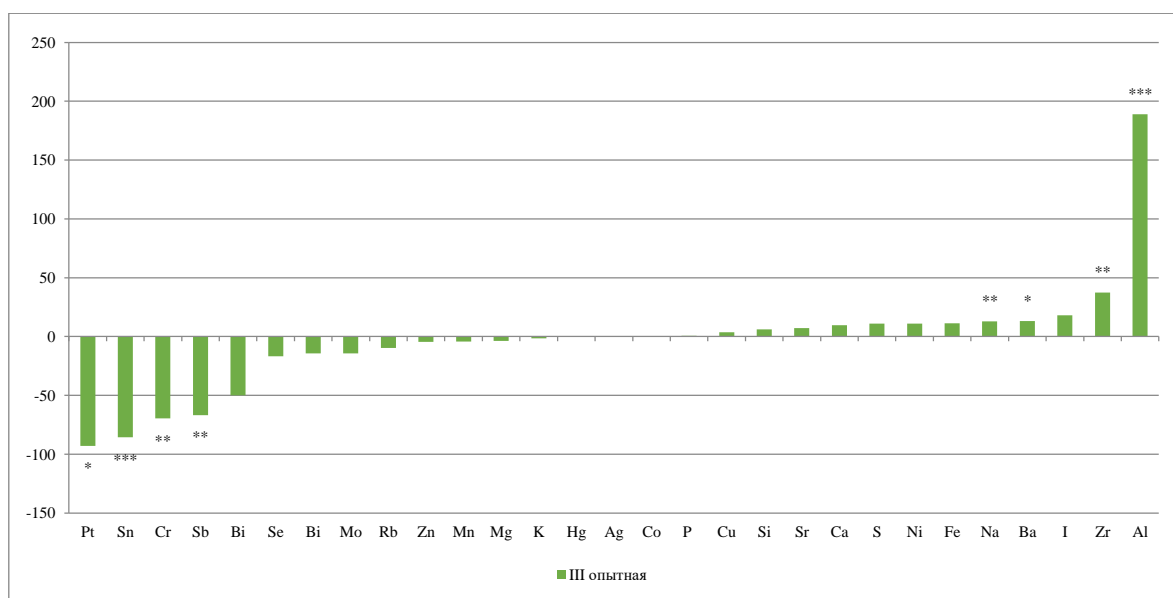


Рис. 7 – Элементный профиль карпа III группы по сравнению с контролем, %  
Примечание: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$ , при сравнении контроля и опытных групп

**Эффективность использования комбикорма.** Установлено, что величина кормового коэффициента опытных групп снижалась на величину от 12,9 до 15,4 % в сравнении с контролем (табл. 4).

Табл. 4 – Эффективность использования корма подопытной рыбой

Показатель	Группа							
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	VII опытная
Кормовой коэффициент	2,80	2,37	2,38	3,02	2,44	3,99	2,44	2,37
Конверсия протеина, %	17,5	19,9	19,5	14,1	18,5	11,7	17,8	20,3
Конверсия энергии, %	10,1	12,8	11,6	9,5	11,3	7,4	11,2	12,4

Коэффициент конверсии протеина в I, II, IV, VI и VII опытных группах превышал показатель контроля на величину от 0,3 до 2,8 %. Конверсия энергии в опытных группах превышала контроль до 2,7 %, за исключением III и V опытных групп, где отмечалось снижение этого показателя до 2,7%.

### 3.3 Научно-производственный эксперимент

В условиях садкового тепловодного хозяйства ООО «Ирикла-рыба» был проведен научно-хозяйственный эксперимент на карпе ( $m=200-300$  г). Контроль получал основной рацион (ОР) – комбикорм КРК-110-1. Опытная группа – ОР + ванилин (25 мг/кг корма). Вода соответствовала требованиям качества ( $T=27 \pm 3$  °C, pH – 7–8 мг/л). Начиная с третьей недели, в опытной группе установлено повышение роста на 4,8% ( $P \leq 0,05$ ). В дальнейшем разница по динамике роста составляла в пределах 4,7–6,3 % ( $P \leq 0,05$ ).

Апробация подтвердила продуктивный эффект. Добавление в рацион ванилина позволило повысить сохранность рыб на 4 % – до 94,8 %. Включение

в корм для рыб ингибитора кворума сенсинга привело к снижению расхода корма на 8,5 % и увеличению общей живой массы опытной группы на 28 кг по сравнению с контролем (табл. 5).

Табл. 5 – Экономическая эффективность научно-хозяйственного эксперимента

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Количество рыб, гол.	500	500
Живая масса: 1 гол, г	584	612
общий, кг	265	290
Сохранность, %	90,8	94,8
Продолжительность выращивания, сут.	63	63
Расход корма на 1 кг прироста, кг	2,01	1,84
Рыночная стоимость 1 кг рыбы, руб.	250	250
Себестоимость 1 кг рыбы, руб.	214	203
Производственные затраты, всего	56677	58956
Общая выручка от реализации, руб.	66250	72500
Дополнительная прибыль руб. /тонну	-	10578,81
Рентабельность, %	16,9	23,0

Себестоимость продукции снизилась на 11 рублей/кг. Фактическая прибыль в опытной группе составила 46703,34 руб./тонну рыбы, против 36124,53 руб./тонну в контрольной группе или на 10578,81 рублей/ тонну больше. Рентабельность производства выросла на 6,1 %.

#### 4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение в кормлении карпа биологически активных кормовых добавок – ванилина и УДЧ SiO<sub>2</sub> позволяет повысить интенсивность роста рыбы на 10–11%. Совместное использование в кормлении карпа ванилина, УДЧ SiO<sub>2</sub> и ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх, не позволяет дополнительно повысить интенсивность роста рыбы. Использование кормовых добавок сопровождается снижением содержания макроэлементов и микроэлементов в мышечной ткани карпа на 51,0 и 0,21 ммоль/кг при использовании в кормлении ванилина; на 4,0 и 0,28 ммоль/кг при скармливании УДЧ SiO<sub>2</sub> на 10,0 и 0,19 ммоль/кг при совместное скармливание препаратов с ферментами. При этом снижение количества токсических элементов мышечной ткани рыбы снижается на 0,10; 0,13 и 0,10 ммоль/кг, соответственно.

2. Включение в рацион ванилина сопровождается снижением величины кормового коэффициента до 2,31–2,37 или на 12,9–15,4 % ниже уровня контроля. Кормовой коэффициент при включении в рацион УДЧ SiO<sub>2</sub> снижается на 6–7%. Дополнительное включение в рацион испытуемых кормовых добавок – ферментного препарата, комплекса жизненно необходимых элементов и пробиотика не сопровождается дальнейшим снижением величины кормового коэффициента. Величина коэффициента конверсии энергии и сырого протеина корма в продукцию в группе,

получавшей ванилин составляет 11,7–12,8 % и 19,9–23,0 %, соответственно. Коэффициент конверсии энергии корма в организме карпа можно дополнительно повысить введением в рацион, содержащий ванилин, комплекса ферментного препарата, комплекса жизненно необходимых элементов и пробиотика.

3. Оцениваемые характеристики морфологического состава крови не изменяются под действием опытных кормовых добавок. В то же время биохимический состав сыворотки крови претерпевает изменения. В частности, при введении ванилина в рацион концентрация общего белка в сыворотке крови возрастает до 28,2 г/л, что на 8,7 г/л превышает уровень контроля, на 4,7-7,9 г/л аналогичный показатель в других опытных группах. Содержание альбуминов в сыворотке крови при использовании в кормлении ванилина так же оказывается наибольшей.

4. Совместное включение в рацион ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх, УДЧ SiO<sub>2</sub>, ингибиторов кворум сенсинга сопровождается снижением содержания отдельных химических элементов в мышечной ткани рыб эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов (Zn, Si, Cr, Ni, Li, Co), при снижении ряда токсических элементов Al – на 80,2 %, As – на 40,1 %, Be – 86,7 %, Cd – 48,1 %, Hg – 75,7 %, Pb – 62,1 %, Sn – 64,3 %. Включение ванилина сопровождается повышением уровня Ca, Na, Fe, Ni, Mo и Ag, при снижении Zr, Sn, Sb, Pt. Дополнительное использование пробиотической добавки сопровождается повышением содержания Ca, Na, S, Se, I, Al, Sb, на фоне снижения Cr, Rb, Sr, Zr, Sn, Ba, Pt, Bi. Совместное применение ванилина + пробиотической добавки стимулирует снижение Cr, Sn, Sb, Pt, при повышении Na, Al, Zr, Ba. В свою очередь включение в комплекс УДЧ SiO<sub>2</sub> и микроэлементов (Zn, I, Cr, Co) приводит к повышению Ca, K, Na, S, Cr, Fe, Mn, Mo при снижении B, Se, Sn, Sb, Hg.

5. Добавление ванилина и комплекса ванилин + УДЧ SiO<sub>2</sub> + ферментные препараты Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх в рацион сопровождается кардинальными изменениями в доминантах метагенома кишечника. Так, использование ванилина приводит к изменениям на уровне родов – доминировали *Aeromonas* (до 34,07 %), *Cetobacterium* (до 40,65 %) и *Vibrio* (до 41,62 %). Применение комплекса ванилин + УДЧ SiO<sub>2</sub> + ферментные препараты Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх приводит к доминированию на уровне рода *Aeromonas* (до 25,24 %) и *Cetobacterium* (до 47,84 %). Применение отдельно ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх и Глюкаваморин ГЗх и ультрадисперсных частиц УДЧ SiO<sub>2</sub> не оказывает значительного влияния на состав микробиома кишечника рыб.

6. При скармливании ферментных препаратов Амилосубтилин ГЗх, Глюкаваморин ГЗх и ванилина обнаружено значительное снижение разнообразия Шеннона и Симпсона, а также замещение представителей нормальной кишечной микробиоты рыб (актиномицеты – род *Aurantimicrobium*, семейство *Microbacteriaceae*, класс *Actinobacteria*, фила *Actinomycetota*; грамотрицательные анаэробные палочки – род *Hydrothalea*, семейство *Chitinophagaceae*, класс *Chitinophagia*, фила *Bacteroidota*;

неклассифицированные грамположительные бактерии класса *Bacilli*, фила *Bacillota*) на облигатно анаэробные грамотрицательные бактерии (род *Cetobacterium*, семейство *Fusobacteriaceae*, класс *Fusobacteriia*, фила *Fusobacteriota*) и факультативно анаэробные грамотрицательные палочки (род *Vibrio*, семейство *Vibrionaceae*, и род *Aeromonas*, семейство *Aeromonadaceae*).

7. Содержание химических элементов в мышечной ткани карпа тесно коррелирует с составом микробиома кишечника рыб. В частности, количество *Cetobacterium* положительно коррелирует с уровнем Zn ( $r=0,87$ ), Fe ( $r=0,96$ ), I ( $r=0,65$ ), Mn ( $r=0,90$ ), а количество *Cutibacterium* – отрицательно с Zn ( $r=-0,67$ ), Fe ( $r=-0,77$ ), I ( $r=-0,63$ ) и Mn ( $r=-0,89$ ). В то же время количество *Aeromonas* и *Caulobacter* отрицательно коррелирует с концентрацией Pb и Hg, положительно с содержанием Se ( $r = 0,65$ ) в мышечной ткани.

8. Включение ванилина в полнорационных комбикорм в дозировке 25 мг/кг в условиях тепловодного садкового хозяйства позволяет повысить прирост живой массы на величину до 6,3 % и сохранность рыбы на 4 %. Достижение этих результатов возможно при снижении расхода корма на 1 кг прироста на 8,5 %, что обеспечивает повышение прибыли на 10578,81 рублей/тонну произведенной рыбы. При повышении рентабельности производства на 6–7 %.

## **5 ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ**

Для повышения эффективности производства товарного карпа в условиях теплового садкового хозяйства, обеспечения биологической безопасности и высоких показателей продуктивности рыб, предлагается включать в рацион годовиков карпа кормовой добавки – ванилин, в дозировке 25 мг/кг корма. Это позволит снизить себестоимость прироста, повысить прибыль на 10,6 тыс. рублей на тонну произведенной рыбы. При повышении рентабельности производства на 6–7 %.

## **6 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Направление диссертационной работы открывает возможности для дальнейших исследований:

1. создание новых методов исследования воздействия биологически активных кормовых добавок и ингибиторов кворум сенсинга бактерий на организм гидробионтов;

2. дальнейших исследований о оценке влияния ингибиторов кворума сенсинга на микробиоценоз кишечника рыб и установления взаимосвязи между составом микробиома и пулом химических элементов в организме рыб;

3. формирования новых подходов к исследованиям по оценке эффективности выращивания молоди карпа в условиях УЗВ и тепловодных хозяйств России.

## **7 СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки**

1. **Мингазова, М.С.** Биологическое действие кормовых добавок на организм карпа / М. С. Мингазова, Е. П. Мирошникова, Ю. В. Килякова, А. Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106. – № 3. – С. 121–137. – DOI: 10.33284/2658-3135-106-3-121

2. **Мингазова, М.С.** Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа при включении в рацион биологически активных веществ / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106. – № 4. – С. 18–29. – DOI: 10.33284/2658-3135-106-4-18

3. **Мирошникова, Е.П.** Действие комплекса биологически активных веществ на живую массу и показатели крови карпа / Е.П. Мирошникова, **М.С. Мингазова**, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (105). – 298–303. – DOI: 10.37670/2073-0853-2024-105-1-298-303

4. **Мингазова, М.С.** Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107. - № 1. – С. 128 – 146. DOI: 10.33284/2658-3135-107-1-128

### **Патент на изобретение РФ**

5. Способ повышения продуктивности рыбы: патент 2826314 Российская Федерация / А.Е. Аринжанов, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, **М.С. Мингазова**; патентообладатель Оренбургский государственный университет № 2024119910, заявление 16.07.2024, опубликован 09.09.2024, Бюл. № 25, 2024. – 1 с.

### **Публикации в других научных изданиях и в материалах научно-практических конференций**

6. **Зуева, М.С.** Влияние кормовых добавок на живую массу годовиков карпа / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии: материалы Международной научно-практической конференции, Оренбург, 21 июня 2023 года. – Оренбург. Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 170–173.

7. **Мирошникова, Е.П.** Опыт применения кормовых добавок в рационе карпа / Е.П. Мирошникова, **М.С. Мингазова**, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Состояние и пути развития аквакультуры: материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Керчь, 4 октября 2023 года. – Керчь. ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 163–167.

8. **Мингазова, М.С.** Оценка биохимических показателей крови при использовании кормовых добавок в рационе карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Состояние и пути развития аквакультуры: материалы VIII Национальной научно-практической

конференции с международным участием, Керчь, 4–6 октября 2023 года. – ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 159–162.

9. **Мингазова, М.С.** Оценка динамики живой массы карпа при использовании комплекса биологически активных веществ // М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Наука будущего – наука молодых: материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Оренбург, 23–24 ноября 2023 года. – Оренбург. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 2023. – С. 26–29.

10. **Мингазова, М.С.** Действие ванилина, ферментных препаратов и ультрадисперсных частиц диоксида кремния на содержание токсических веществ в мышцах карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 1–3 февраля 2024 года. – Оренбург. – Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 4151–4154.

11. **Мингазова, М.С.** Влияние комплекса биологически активных веществ на химический состав мышечной ткани карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Аграрный научный журнал. – 2024. – №7. – С. 77–82.

12. **Мингазова, М.С.** Содержание химических элементов в мышечной ткани рыб / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Будущее аквакультуры. Прогрессивные биотехнологии: материалы Международной конференции, Саратов, 2 февраля 2024. – С. 41–44.

13. **Мингазова, М.С.** Гематологические параметры карпа при включении в рацион комплекса биологически активных веществ / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Актуальные вопросы и инновации в животноводстве: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 22–23 мая 2024. – Оренбург. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 2024. – С. 139–142.

14. **Мингазова, М.С.** Влияние ингибитора кворум сенсинга в кормлении карпа на содержание токсических элементов в тканях / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Биоэлементы: материалы VI Международной научно-практической конференции, Оренбург, 23–24 мая 2024. – Оренбург. – Оренбургский государственный университет, 2024. – Т. 25. – С. 64–65.

15. **Мирошникова, Е.П.** Ультрадисперсные частицы в кормлении карпа / Е.П. Мирошникова, **М.С. Мингазова**, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Биоэлементы: материалы VI Международной научно-практической конференции, Оренбург, 23–24 мая 2024. – Оренбург. – Оренбургский государственный университет, 2024. – Т. 25. – С. 68–69.

**Мингазова Марина Сергеевна**

**Влияние биологически активных кормовых добавок на  
микробиом, продуктивность и обмен веществ у карпа**

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и  
производства продукции животноводства

**Автореферат**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Подписано в печать «24» октября 2024 г.  
Формат 60x90/16. Усл. печ. 1,0  
Тираж 100 экз. Заказ № \_\_

---

Издательский центр ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29