

ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

PRIVATE ANIMAL HUSBANDRY, FEEDING, TECHNOLOGIES OF FEED PREPARATION AND PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS



УДК [661.155.3+54-414]:639.3

Оригинальное теоретическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-4-52-66>

Использование кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве: обзор научной литературы

Ю.В. Киякова¹ , Е.П. Мирошникова¹ , А.Е. Аринжанов¹ , М.С. Мингазова^{1,2} ¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация² Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий

Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация

✉ fish-ka06@mail.ru

EDN: AYPMQP

Аннотация

Введение. Аквакультура в настоящее время признана наиболее интенсивно развивающейся отраслью сельского хозяйства. Снизить негативное влияние интенсификационных мероприятий на гидробионтов, повысить их имунный статус позволяют разнообразные кормовые добавки. Особый интерес представляют добавки природного происхождения с сорбционными свойствами, экологически безопасные и не вызывающие привыкания. В качестве кормовых добавок с сорбционными свойствами для рыб используются гуминовые кислоты, цеолиты, алюмосиликаты, древесный уголь и др. Необходимо не только найти вещество с сорбционными свойствами, которое возможно использовать в качестве кормовой добавки, но и определить дозировку, взаимодействие с компонентами кормов и другими препаратами, безопасность. Как в зарубежной, так и в отечественной литературе имеющиеся публикации посвящены исследованиям, проведенным на отдельных видах гидробионтов, при включении определенных кормовых добавок с сорбционными свойствами в рацион в течение ограниченного периода времени. Обзоры исследований, в которых было бы проанализировано использование таких кормовых добавок в аквакультуре, в научной литературе не представлены. Цель данного обзора — обобщение литературных данных по результатам использования кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели проведен поиск статей, опубликованных с 2006 по 2023 гг., в базах данных eLIBRARY.RU, PubMed по данной теме с использованием ключевых слов: кормовые добавки в рыбоводстве, кормление рыб, кормовые добавки с сорбционными свойствами, древесный уголь, цеолиты, гуминовые кислоты, хитозан, кремнезем, опока в кормах для гидробионтов. В поиск включались только источники на русском и английском языках. Материал, прошедший скрининг, был проанализирован, систематизирован и представлен в виде таблицы, диаграммы и блок-схемы PRISMA.

Результаты исследования. В результате поиска в данный обзор вошли 55 статей. Информация систематизирована по тематическим блокам, связанным с веществами, используемыми в качестве кормовой добавки и обладающими сорбционными свойствами. Выявлено, что чаще всего в качестве сорбентов как для пресноводных, так и для морских рыб применяются: активная кормовая добавка из древесного угля, цеолиты, гуминовые кислоты, гуматы. Основные направления использования кормовых добавок с сорбционными свойствами — улучшение физиологических показателей организма рыб и повышение рентабельности производства. Реже, согласно литературным данным, природные сорбенты добавляют непосредственно в воду.

Обсуждение и заключение. Полученные в результате обзора обобщенные данные позволяют рассматривать кормовые добавки с сорбционными свойствами как перспективные с позиции потенциального внедрения в рыбоводную практику. Однако в многочисленных исследованиях, проведенных отечественными и зарубежными авторами, не установлены дозировки при включении в рацион большинства объектов рыбоводства сорбентов, мало изучен механизм их действия на рыб, нет информации по продолжительности и частоте использования кормовых

добавок с сорбционными свойствами в производственных условиях, отсутствуют достоверные данные по нетоксичности, синергизму или антагонизму при совместном использовании различных кормовых добавок. Это обуславливает необходимость проведения более масштабных работ в этом направлении.

Ключевые слова: кормовые добавки, кормление, сорбционные свойства, рыбоводство, древесный уголь, цеолиты, гуминовые кислоты, хитозан, кремнезем, опока, рыбопродуктивность, рентабельность выращивания, гематологические показатели

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23–76–10054.

Для цитирования. Килякова Ю.В., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Мингазова М.С. Использование кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве: обзор научной литературы. *Ветеринарная патология*. 2024;23(4):52–66. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-4-52-66>

Original Theoretical Research

Use of Feed Additives with Sorption Properties in Fish Farming: Literature Review

Yuliya V. Kilyakova¹ , Elena P. Miroshnikova¹ , Azamat E. Arinzhanov¹ , Marina S. Mingazova^{1,2} 

¹ Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

² Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

✉ fish-ka06@mail.ru

Abstract

Introduction. Aquaculture is currently recognised as the most rapidly developing branch of agriculture. Various feed additives enable reduction of the negative impact of the production intensification measures on the hydrobionts and improve their immune status. The natural additives with sorption properties are of particular interest, they are environmentally friendly and cause no dependence. Humic acids, zeolites, aluminosilicates, charcoal, etc. are used as the sorption feed additives for fish. It is necessary not only to find a substance possessing the sorption properties that can be used as a feed additive, but also to determine its dosage, interaction with feed ingredients and other preparations, as well as its safety. The existing publications in the foreign and native scientific literature describe the research held in the certain hydrobionts species on inclusion in their diet of the certain sorption feed additives for a limited period of time. However, in the scientific literature, the review papers analysing the use of such feed additives in aquaculture are not available yet. The objective of the present review is to summarise the data available in the literature on the results of using the feed additives with sorption properties in fish farming.

Materials and Methods. To achieve the set objective, a search for the articles published on this topic in the period from 2006 to 2023 in the eLIBRARY.RU, PubMed databases was carried out by the keywords: feed additives in fish farming, fish feeding, feed additives with sorption properties, charcoal, zeolites, humic acids, chitosan, silica, opoka in the feed for hydrobionts. Only sources in Russian and English languages were included in the search. The papers that passed screening were analysed, systematized and presented in the form of a table, chart and PRISMA flow chart.

Results. The search yielded with 55 articles, which were included in this review. The information was systematized by the thematic units according to the substances used as feed additives and possessing the sorption properties. It was revealed that the most frequently used sorbents for both freshwater and marine fish were: active feed additive made of charcoal, zeolites, humic acids, humates. The main purposes for using the sorption feed additives were improving the physiological parameters of fish organisms and increasing the profitability of production. According to the literature sources, the natural sorbents were less often added directly to water.

Discussion and Conclusion. The summarised data obtained as a result of the review allow us to consider the feed additives with sorption properties as having a good perspective for implementation into fish farming. However, in the numerous studies conducted by the native and foreign authors, the dosages of sorbents included in the diet of the most of fish farming objects are not specified, the mechanism of their impact on fish is poorly studied, as well as there is no information on the duration and frequency of using the sorption feed additives in conditions of the industrial production, the reliable data on non-toxicity, synergism or antagonism of co-usage of the various feed additives is not available either. Thus, a more extensive work in this direction is required.

Keywords: feed additives, feeding, sorption properties, fish farming, charcoal, zeolites, humic acids, chitosan, silica, opoka, fish productivity, profitability of rearing, hematological indices

Funding Information. The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation, project No. 23–76–10054.

For Citation. Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Mingazova MS. Use of Feed Additives with Sorption Properties in Fish Farming: Literature Review. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2024;23(4):52–66. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-4-52-66>

Введение. Рыба всегда являлась важным источником питания людей, обладая полным набором незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, витаминов группы В и минералов. Обеспечить возрастающие с каждым днем потребности населения земного шара в рыбной продукции под силу только аквакультуре [1, 2]. По данным ФАО (FAO, Food and Agriculture Organization — Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций) и Всемирной организации здравоохранения, аквакультура признана наиболее интенсивно развивающейся в настоящее время отраслью сельского хозяйства [3, 4]. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р утверждена «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», в которой прогнозируется увеличение объема производства продукции товарной аквакультуры в 3 раза к 2030 г. Для достижения этой цели выделены следующие основные направления: продвижение отечественных научных исследований в этой области, разработка методов повышения рентабельности производства и снижения потерь от болезней гидробионтов.

Товарное рыбоводство в общей структуре рыбохозяйственного комплекса России занимает незначительную часть, но при этом опережает по производству рыбы такие страны Европы, как Германия, Норвегия, Великобритания, Финляндия [5]. Получение больших объемов продукции в короткий срок с единицы площади возможно только при интенсификации технологии производства. Высокая плотность посадки, интенсивное кормление способствуют накоплению в рыбоводных емкостях органики, а следовательно, ухудшению гидрохимических параметров среды, что приводит к возникновению различных заболеваний рыб. Снизить негативное влияние интенсификационных мероприятий на гидробионтов и повысить их иммунный статус позволяют разнообразные кормовые добавки, среди которых особый интерес представляют добавки природного происхождения с сорбционными свойствами, экологически безопасные и не вызывающие привыкания [1, 3].

Использование ростостимулирующих препаратов в рыбоводстве, воздействующих на обмен веществ, воспроизводство, иммунитет, порой приводит к накоплению в организме рыб чужеродных веществ, которые в дальнейшем попадают в организм человека [6]. Актуальным вопросом остается не только выявление, но и своевременное выведение из организма рыб таких чужеродных веществ, как пестициды, антибиотики, тяжелые металлы, гормональные препараты [7].

Процесс поглощения одного вещества другим называется сорбцией. Еще Гиппократ дезинфицировал раны активированным углем. В Средневековье Авиценна в своих трудах описал метод выведения из организма токсинов с помощью сорбентов. В современной медицине и ветеринарии лечение разнообразных заболеваний путем связывания и выделения чужеродных веществ из организма сорбентами — энтеросорбция — получило широкое распространение. Различают несколько разновидностей сорбции: адсорбция, абсорбция, ионообмен и комплексобразование. Все они основаны на процессе поглощения или замещения ксенобиотиков, их нейтрализации и выведении из организма сорбентами. Сорбенты в итоге осуществляют детоксикацию организма, значительно уменьшают токсическую нагрузку на печень и почки, проводят чистку желудочно-кишечного тракта, снижают проницаемость кишечника для токсикантов, стабилизируют микробиocenоз кишечника [8, 9].

Сорбентами называют вещества, впитывающие токсины. В рыбоводстве сорбенты помогают очищать воду, улучшая санитарные условия среды, а попадая в организм, гидрат обеспечивает эффективную детоксикацию [10]. В качестве кормовых добавок с сорбционными свойствами для рыб используются гуминовые кислоты, цеолиты, алюмосиликаты, древесный уголь и др. Поиску наиболее эффективного сорбента для целей товарной аквакультуры уделяется большое внимание. Необходимо не только найти вещество-сорбент, которое возможно использовать в качестве кормовой добавки, но и определить дозировку, взаимодействие с компонентами кормов и другими препаратами, безопасность. Несмотря на интенсивное использование в рыбоводстве кормовых добавок с сорбционными свойствами, до сих пор мало изучен механизм их действия на рыб и отсутствует научно-обоснованная технология их применения.

Цель обзора — обобщение данных научной литературы по результатам применения кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели проведен поиск статей, опубликованных с 2006 по 2023 гг., в базах данных eLIBRARY.RU, PubMed по данной теме с ориентиром на заголовки и аннотации статей. Систематический поиск в библиографических базах данных выполнялся с использованием ключевых слов: кормовые добавки в рыбоводстве, кормление рыб, кормовые добавки с сорбционными свойствами, древесный уголь, цеолиты, гуминовые кислоты, хитозан, кремнезем, опока в кормах для гидробионтов. В поиск включались только источники на

русском и английском языках. Дублирующие статьи были исключены на этапе скрининга. Материал, прошедший скрининг, был проанализирован и систематизирован для каждого вещества с сорбционными свойствами, используемого в качестве кормовой добавки, и представлен в виде таблицы, диаграммы и блок-схемы PRISMA.

Результаты исследования. В целом, в результате поиска, проведенного во всех базах данных, было выявлено 90 источников по теме, из которых исключено 13 дублирующих источников, а 77 статей — отобраны

для дальнейшего анализа. После проверки заголовков и аннотаций было удалено 4 источника. Потенциально подходящие полные тексты ($n=73$) были загружены в облачное хранилище и изучены всеми экспертами, чтобы убедиться в их актуальности. После данного этапа еще 18 публикаций были исключены. В результате 55 максимально релевантных тематике статей были окончательно отобраны для включения в обзор. Краткое изложение процесса проверки показано на блок-схеме PRISMA (рис. 1).

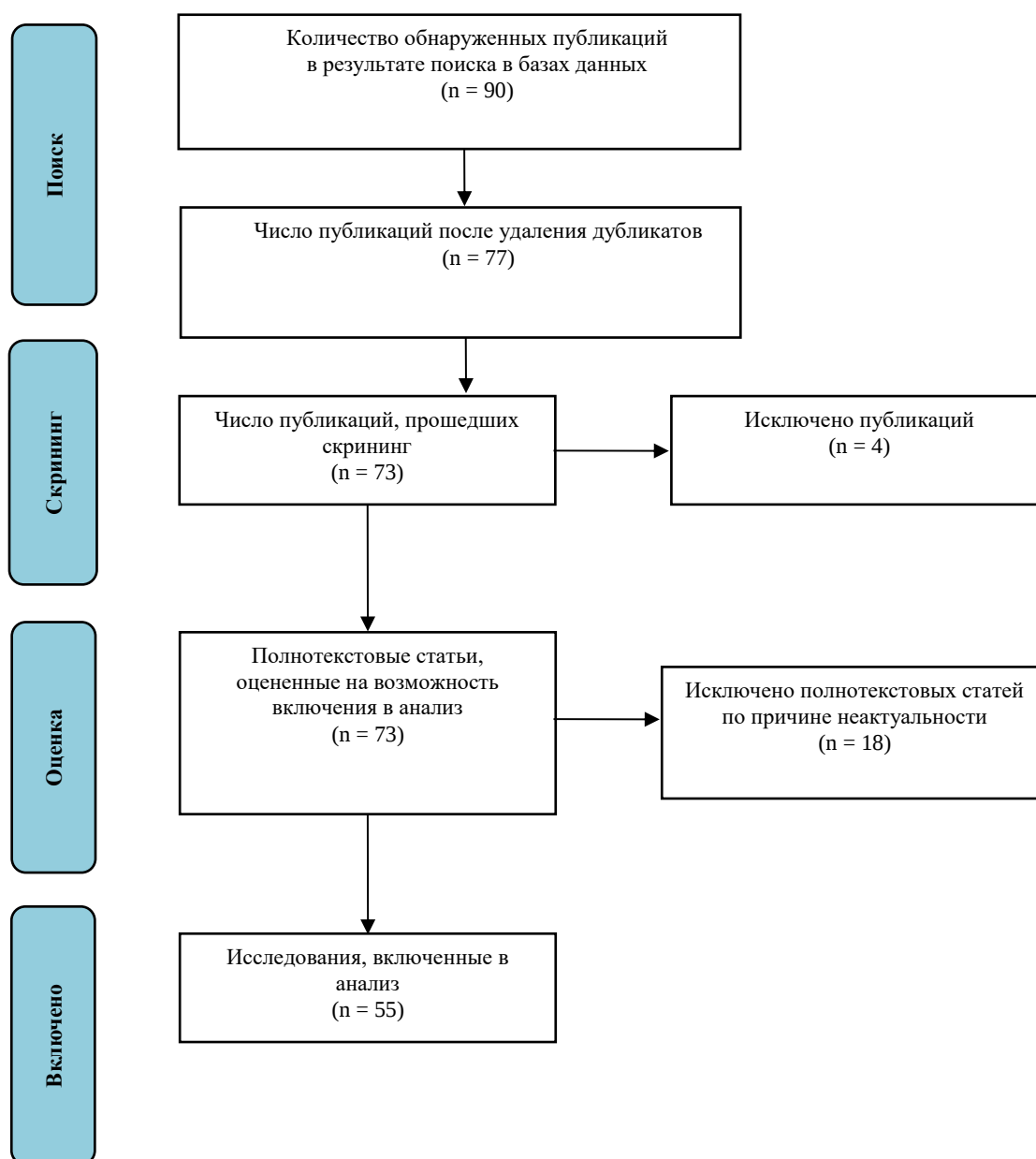


Рис. 1. Блок-схема PRISMA по результатам поиска публикаций

Обобщенные литературные данные по результатам использования кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве представлены в таблице 1.

Таблица 1

Литературные источники с результатами использования кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве

ФИО автора, ссылка на источник в списке литературы	Используемая кормовая добавка	Процентное соотношение кормовой добавки в корме	Вид гидробионтов	Основные оцениваемые показатели
Максим Е.А. и др. [10] Чернышов Е.В. и др. [11] Остренко К.С. и др. [12] Чернышов Е.В. и др. [13]	Активная угольная кормовая добавка (АУКД) Пелоидно-угольная кормовая добавка	0,1 %, 0,2 % и 0,5 % АУКД от массы корма 3,0 % от массы корма	Шип	Масса рыбы, выход тушек, кормовой коэффициент, затраты кормов, коэффициент упитанности, гистоморфологическая структура внутренних органов, уровень содержания тяжелых металлов
Firdus F. и др. [14, 15]	Активированный уголь	от 0 до 3 % от массы корма	Гигантский каранкс	Рост, выживаемость, морфологическая структура внутренних органов
Abd El-hameed S.A.A. и др. [16]	Активированный уголь	14,3 г на 1 кг корма	Нильская тилипия	Выживаемость, биохимические показатели крови
Elhetawy A.I.G. и др. [17]	Активированный уголь	1–2 % на 1 кг корма	Лаврак	Рост, уровень содержания тяжелых металлов в мышцах и внутренних органах, уровень иммунитета
Wu C.C. и др. [18]	Активированный уголь	Активированный уголь в составе фильтра	Данио	Микробиом кишечника
Ju K. и др. [19]	Древесный уголь и бамбуковый уксус	1 и 2 % на 1 кг корма	Вьюн	Рост, выживаемость, микробиом кишечника
Jiang F. и др. [20]	Бамбуковый древесный уголь	2–3 г на 1 кг корма	Тупорылый черный лещ	Рост, иммунитет, активность ферментов
Elhetawy A.I.G. и др. [17]	Активированный древесный уголь	10 г на 1 кг корма	Европейский сибас	Рост, эффективность кормления, содержания тяжелых металлов в организме, гистоморфологическая структура внутренних органов
Dawood M.A.O. и др. [23] Aly S.M. и др. [24] Ismael N.E.M. и др. [25]	Хитозан	1–2 г на 1 кг корма	Кефаль-головач, нильская тилипия	Рост, эффективность кормления, показатели крови, морфологическая структура кишечника
Лапин А.А. и др. [26]	Нанодисперсный кремнезем	0,2 % в воде, 0,25 % в корме	Дафнии, гуппи	Физиологические процессы
Васюкевич Т.А. и др. [27]	Ферроцин — комплекс солей железогексацианоферрата калия (в количестве 5%) и железогексацианоферрата (в количестве 95%) в форме мелкодисперсного порошка	1 % от массы корма	Сиг обыкновенный	Безопасность кормов
Матвеева А.Ю. [28]	Цеолиты	1,5 % от массы корма	Карп	Физиологические процессы, гематологические показатели
Поляков А.Д. и др. [29]	Цеолиты	Замена 4 % пшеницы на 4 % пегасина (цеолитовый туф)	Карп	Рост, себестоимость корма
Баканева Ю.М. и др. [30, 31] Ропомарев S.V. и др. [32]	Опока	3 %, 6 % от массы корма	Гибрид «русский осетр × ленский осетр»	Рост, выживаемость

Ширина Ю.М. и др. [33] Котельников А.В. и др. [34]	Минеральная добавка «Цеолит» на основе опоки	3 % от массы корма	Австралийский красноклешневый карп	Рост, выживаемость, эффективность кормления, морфологическая структура внутренних органов
Vasiliev A.A. [42] Manieson V.E. и др. [43]	Биологически активная добавка «Reasil®Humic Vet» с гуминовыми кислотами	2 мл на 1 кг корма	Клариевый сом	Рост, эффективность кормления
Ермаков М.Д. [44]	Биологически активная добавка «Reasil®Humic Vet» с гуминовыми кислотами	1,0 г на 1 кг корма	Осетровые	Рентабельность выращивания, микробиом кишечника, выживаемость, продуктивность, иммунитет
Туренко О.Ю. и др. [45] Васильев А.А. и др. [46] Guseva Y.A. и др. [47]	Биологически активная добавка «Reasil®Humic Vet» с гуминовыми кислотами	1,0 г препарата на 1,0 кг комбикорма при навеске рыбы от 50,0 до 600,0 г и 1,5 г препарата на 1,0 кг комбикорма при навеске от 600,0 г до 1000,0 г	Ленский осетр	Рентабельность выращивания
Prokešová M. и др. [48]	Гуминовые кислоты	3 % от массы тела	Клариевый сом	Биохимические показатели крови
Жилякова Т.П. и др. [49] Yamin G. И др. [50]	Кормовая добавка «Гумитон» (с содержанием 1% гуминовых кислот и 0,32% фульвокислот, макроэлементов (кальций), микроэлементов (железо, магний, медь, цинк), шестнадцати аминокислот)	0,005 % от массы корма	Карп	Выживаемость, рост, иммунитет
Васильев А.А. [51] Коровушкин А.А. и др. [52]	Добавка «Reasil®Humic Health» с гуминовыми кислотами	2 г на 100 кг массы рыбы	Карп	Рост
Макеенко А.А. [53] Лиштван И.И. и др. [54]	Гуматсодержащие остатки	600 кг/га	Карп	Рыбопродуктивность

Активированный уголь, производимый из древесного угля, очень пористый материал, с большой адсорбционной способностью поглощать разнообразные вещества, бактерии, ядовитые токсические вещества. В рыбоводстве нашла применение активная угольная кормовая добавка (АУКД) — экологически чистая, так как производится из отходов древесины. Для нее характерна адсорбционная избирательность, сохраняющая активность макро- и микроэлементов, витаминов как в организме животных, так и в кормах. В кормлении теплокровных животных добавка хорошо показала себя как адсорбент микотоксинов [6]. При проведении исследований на шипе (*Acipenser nudiiventris* (Lovetsky, 1828)) в основной рацион вводили 0,1 %, 0,2 % и 0,5 % АУКД от массы корма. В экспериментальных группах, получавших угольную добавку в дозировке 0,2 % и 0,5 %, наблюдалось достоверное увеличение массы годовиков шипа на 10,2 % и 9,9 % и выход тушек на 3,5 % и 4,3 % соответственно. Кормовой коэффициент снизился на 11,3 % и 10,6 %, затраты кормов — до 11,3 %, а коэффициент упитанности повысился на 6,9 % и 6,8 %. В результате гистоморфологического анализа печени рыб выявлено, что добавление АУКД приводит к нейтрализации токсических веществ, более активному белковому обмену и положительно сказывается на морфологической и клеточной

структуре печени [10, 11]. Кроме того, уровень содержания ртути, кадмия, свинца в гомогенате мышц шипа снизился в этих же группах в 1,5–2,5 раза, при этом выведения кальция и фосфора из организма не происходит [12]. В результате дальнейших исследований этой же группой авторов при разработке кормовой биологически активной добавки на основе озерных илистых отложений, включающих в свой состав АУКД, были получены следующие данные: пелоидно-угольная кормовая добавка на основе донных отложений озера Ханского (93 %) (Ейский район Краснодарского края) с содержанием активированного угля (7,0 %) в количестве 3,0 % от массы корма способствовала повышению массы молоди шипа на 10,7 %, при снижении кормового коэффициента на 19,2 % [13].

Группа учёных под руководством Firdus F. зафиксировала, что включение в рацион гигантского каранкса (*Caranx ignobilis*) активированного угля в дозировках от 0 до 3 % на протяжении 42 дней стимулирует рост и повышает выживаемость рыб, при этом наилучший результат был при концентрации 2 % активированного угля в рационе. Так же было выявлено, что древесный уголь в рационе каранкса оказывает благоприятное воздействие на фовеолярные клетки желудка и на длину и ширину ворсинок кишечника [14, 15].

Результаты эксперимента на нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) показали, что дополнительное применение активированного угля в рационе рыб, подвергшихся воздействию сельскохозяйственного пестицида имидаклоприда, способствовало повышению выживаемости до 100 %, а также снижению уровня глюкозы и активности малонового диальдегида в сыворотке крови при добавлении в рацион 14,3 г/кг корма активированного угля. Кормовая добавка в данном исследовании рекомендована для снижения негативного воздействия на организм нильской тилляпии сублетальной концентрации пестицида [16]. При использовании в кормлении лаврака (*Dicentrarchus labrax*) активированного угля (1–2 %) исследователи отметили повышение роста при снижении уровня аммиака и содержания токсических металлов (медь, кадмий, железо, марганец и цинк) в воде, мышцах и внутренних органах рыб. Также было установлено улучшение пищеварительных ферментов и иммунитета [17]. Активированный уголь способствует заселению полезной микрофлоры в кишечнике данио (*Danio rerio* (Hamilton, 1822)) [18].

Лу К. совместно с коллегами описали в 2023 г. применение пищевой добавки на основе бамбукового уксуса и порошка древесного угля в кормлении вьюна (*Paramisgurnus dabryanus*). Установлено, что включение добавки (дозировка 1 и 2 %) в рацион положительно влияло на выживаемость и показатели роста рыб (увеличение по приросту массы в 1,13–1,14 раза, удельной скорости роста — в 1,04 раза) при низком коэффициенте конверсии корма. Кроме того, учёные выявили действие сорбционной добавки на микробиоту кишечника: снижалось содержание патогенных организмов (*Aeromonas veronii* и *Escherichia coli*) при увеличении полезных (*Lactococcus raffinolactis* и *Faecalibacterium prausnitzii*) [19].

Применение бамбукового древесного угля в кормлении тупорылого черного леща (*Megalobrama amblycephala*) в дозировке 2–3 г/кг корма оказывает положительное действие на прирост, иммунитет и антиоксидантные ферменты рыб [20]. Европейский сибас (*Dicentrarchus labrax*), получавший в качестве кормовой добавки активированный древесный уголь в дозировке 10 г/кг корма, после 120 дней эксперимента демонстрировал наибольший конечный вес (171,9 г), при этом отмечался низкий коэффициент конверсии корма (1,25) и выведение из организма рыб аммония и тяжелых металлов. Кроме того, на гистологических срезах наблюдалось увеличение антиоксидантной активности, улучшение работы печени, почек, селезенки [17].

Перспективными адсорбентами являются препараты в наноформе за счёт их всестороннего действия на организм гидробионтов [21]. Так, наночастицы хитозана показали высокие адсорбционные способности, а также биосовместимость, нетоксичность и антибак-

териальные качества [22]. Включение наночастиц хитозана в кормление кефали-головач (*Liza ramada*) в дозировках 1–2 г/кг корма на протяжении 8 недель оказали ростостимулирующее действие на рыб при понижении коэффициента конверсии корма и улучшении гематологических параметров. При этом установлено положительное влияние на кишечник: морфометрический анализ выявил значительное увеличение высоты и ширины ворсинок кишечника и количества бокаловидных клеток в группах, получавших хитозан [23]. Подобный результат был получен и при использовании наночастиц хитозана в кормлении нильской тилляпии [24, 25].

В исследовании Лапина А.А. с соавторами нанодисперсный кремнезем, полученный из термальных вод, оказывал положительное влияние на физиологические процессы гидробионтов (дафнии (*Daphnia magna* Straus) и гуппи (*Poecilia reticulata*)), увеличивая массу переносимого кислорода при содержании кремнезема в воде до 0,2% (дафнии) и введении в корм до 0,25% (гуппи). Нанодисперсный кремнезем позволил также защитить корма от плесневых грибов, выделяющих токсины [26].

Эффективными сорбентами в отношении радионуклидов цезия, марганца, рубидия, таллия, кобальта являются ферроцианидсодержащие препараты. В рыбоводстве для этих целей можно использовать ферроцин — комплекс солей железо-гексацианоферрат калия (в количестве 5%) и железо-гексацианоферрат (в количестве 95 %) в форме мелкодисперсного порошка. При ведении рыбоводства на загрязнённых территориях ферроциновая добавка в кормах (1 % от массы корма) для сеголетков и годовиков сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)) может обеспечить получение безопасных в радиационном отношении кормов, загрязнённых цезием более чем на 99 %. Ферроцин совместно с альгинатами калия и магния (3,4%, для снижения накопления стронция в организме) позволяет увеличить допустимую удельную активность стронция в кормах в 2 раза (содержание кальция в кормах к альгинатам 1:4) [27].

Благодаря специфической структуре цеолиты являются натуральными энтеросорбентами тяжелых металлов, радионуклидов, аммиачного азота, токсических веществ. Они эффективно снижают воспалительные процессы в организме, улучшают работу кровеносной системы. Помимо сорбционных свойств, для цеолитов характерны ионообменные, пролонгирующие, селективные свойства, обеспечивающие усиление очень многих важных функций организма. Кроме того, цеолиты оказывают влияние на окисление витамина С, усиливая процесс в 5–8 раз в зависимости от концентрации его в воде. Антиоксидантные свойства цеолитов помогают увеличивать срок годности кормов, их лёжкость [1]. Матвеева А.Ю. рекомендует использовать минеральную добавку «Баймакские цеолиты» в процентном соотношении 1,5 % от количества корма для улучшения гематологических и физиологических

показателей организма рыб. Так, у сеголетков карпа (*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)), получавших цеолиты с кормом в указанном количестве, содержание гемоглобина возросло на 12 %, глюкозы на 8 %, количество эритроцитов увеличилось на 4 % [28].

Цеолиты в исследованиях отечественных ученых служат не только кормовой добавкой, но и заменяют некоторые компоненты комбикормов. Так, при замене в рецепте корма ГосНИОРХ марки 12–80 (комбикорм данной рецептуры предназначен для выращивания в теплой воде карпов массой от 1 до 40 г) 4 % пшеницы на 4 % пегасина (цеолитовый туф Пегасского месторождения) возросла скорость массонакопления молоди карпа на 14 % по сравнению с контролем, себестоимость корма была на 7,4 % ниже комбикорма классического рецепта [29]. Внесение цеолитов не только в корма, но и непосредственно в воду способствует снижению заболеваемости микотоксикозами, уменьшению микотоксинов в печени, а также ртути, мышьяка, свинца, ГХИГ, ДДТ в мышцах рыб благодаря активизации обменных процессов, удалению из воды азотсодержащих соединений (аммиака, нитратов и нитритов) [1].

Опока — природный материал, разновидность цеолитов, состоящий из оксидов кремния, алюминия, железа, титана, калия, натрия, магния, силикат иона. При добавлении в корма в количестве 3 % абсолютный прирост годовиков гибрида «русский осетр × ленский осетр» (*Acipenser güldenstädtii* × *Acipenser baeri* (Brandt, 1869)) составил 114,4 % (т. е. на 14,4 % выше контроля) в течение 45 суток при выживаемости 100 % и физиологических показателях в пределах нормы. Повышение количества опоки в комбикорме до 6 % способствовало в то же время снижению прироста гибрида на 9,2 % по сравнению с опытной группой, получавшей в качестве кормовой добавки опоку в количестве 3 % [30–32]. Те же дозировки комплексной минеральной добавки «Цеолит» на основе природной опоки в кормах австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)) способствовали приросту массы тела на 0,9 г и 0,8 г, коэффициент массонакопления увеличился на 0,0123 ед. и 0,0108 ед., кормовой коэффициент снизился с 1,5 до 1,3 [33]. У сеголетков чешуйчатого карпа (*Cyprinus carpio carpio*) прирост за 45 суток эксперимента составил 53 % при абсолютной выживаемости на рационе с включением 3% опоки в качестве минеральной добавки. Патологических изменений в строении внутренних органов при этом не происходило [34].

Гуминовые кислоты в качестве сорбентов весьма успешно используются в растениеводстве [35], птицеводстве [36], животноводстве [37], могут быть перспективны и в рыбоводстве. Эти соединения входят в состав гумуса — высокомолекулярного природного органического соединения, образующегося при отмирании и последующем разложении животных и растений. Гуминовые кислоты выделяют из торфа, почвы и

бурого угля [38]. Они оказывают не только ростостимулирующий эффект, повышают иммунитет, ускоряют метаболизм, но и обладают сорбционными свойствами. Эти соединения связывают тяжелые металлы, микотоксины: дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон, охратоксин А, афлатоксин В1, фузариозин В1 [39–41]. Благодаря значительному количеству витаминов, аминокислот, минеральных компонентов в составе, гуминовые кислоты перспективны в качестве кормовой добавки. При включении в рацион мальков клариевого сома (*Clarias gariepinus*) 2 мл биологически активной добавки «Reasil®Humic Vet» с гуминовыми кислотами прирост массы за 126 дней опыта составил 121,3 % (т. е. на 21,3% выше контроля), кормовой коэффициент был ниже на 0,08 ед. по сравнению с контролем, затраты корма снизились на 7,1 % [42, 43]. В исследовании Ермакова М.Д. биологически активная кормовая добавка «Reasil®Humic Vet» на основе гуминовых кислот в дозировке 1,0 г на 1 кг комбикорма способствовала повышению рентабельности выращивания осетровых на 11,48 % по сравнению с контрольной группой. Оказывая положительное влияние на развитие полезной микрофлоры в желудочно-кишечном тракте, поглощая опасные для организма вещества, кормовая добавка с гуминовыми кислотами таким образом снизила смертность, повысила уровень неспецифической резистентности и продуктивности [44].

Туренко О.Ю. с соавторами рекомендуют для повышения экономической эффективности товарного выращивания ленского осетра в промышленных условиях использовать кормовую добавку «Reasil®Humic Health» на основе немодифицированных микропористых гуминовых кислот из леонардита в дозировках 1,0 г препарата на 1,0 кг комбикорма при навеске рыбы от 50,0 до 600,0 г и 1,5 г препарата на 1,0 кг комбикорма при навеске от 600,0 г до 1000,0 г [45]. Уровень рентабельности производства в течение 210 суток выращивания ленского осетра (*Acipenser baerii* (Brandt, 1869)) был выше на 9,3 % в опытной группе, получавшей основной рацион с включением «Reasil®Humic Health». Затраты на корм в опытной группе оказались ниже на 4,1 % благодаря стимуляции гуминовыми кислотами выработки ферментов. Кроме того, доказано, что гуминовые кислоты способствуют развитию лактобактерий в кишечнике рыб, при этом ограничивая, благодаря сорбционным свойствам, рост колибактерий. Таким образом, гуминовые кислоты можно считать естественными заменителями антибиотиков [46, 47]. Гуминовые кислоты из сибирского леонардита в дозировке 3 % от массы тела клариевого сома оказали положительное влияние на биохимические показатели крови [48].

Жилякова Т.П. в своей работе рекомендует при выращивании карпа (*Cyprinus carpio*, (Linnaeus, 1758)) применение кормовой добавки «Гумитон» (с содержанием 1 % гуминовых кислот и 0,32 % фульвокислот, макроэлемен-

тов (кальций), микроэлементов (железо, магний, медь, цинк), шестнадцати аминокислот). Дозировка 0,005 % «Гумитона» от массы корма повысила выживаемость молоди карпа на 12,2–16,6 %, обеспечила прибавку живой массы на 68,2–69,0 %, увеличение длины — на 54,7–69,5 %, эффективность набора массы — на 2,36–2,39 мг/объект/сутки, по сравнению с контролем. Комплекс гуминовых и фульвокислот стимулировал антиоксидантную и иммуномодулирующую активность организма, выступая синергистом в «Гумитоне» [49, 50].

Соли гуминовых кислот — гуматы — используют в агрономии для рекультивации и восстановления почв, при буровых работах, в строительстве, медицине, а также в сельском хозяйстве. В состав гуматов входят аминок-, фульво-, гиматомелановые кислоты, полисахариды, пептиды, ферменты, макро- и микроэлементы. Гуматы представлены в легкодоступной для животных форме, поэтому выступают природными стимуляторами роста, продуктивности, обменных процессов [51]. Коровушкин А.А. с коллегами разработали рацион с добавкой «Reasil®Humic Health» (2 г на 100 кг живой массы рыбы), содержащей немодифицированные микропористые гуминовые кислоты. При кормлении сеголетков карпа в течение 30 суток в условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) средняя масса в опытной группе, по сравнению с контрольной, была выше на 23,7 %, среднесуточный прирост — на 39,7 %, что выгодно хозяйствам, занимающимся прудовой аквакультурой [52].

В процессе создания гуминовых препаратов путем химической деструкции торфа образуются остатки — непрогидролизированный либо неокисленный остаток торфа. Гуматсодержащие остатки по своему химическому составу близки к гуматам и обладают теми же свойствами [53]. Группа ученых из Беларуси предложили использовать гуматсодержащие отходы для повышения продуктивности прудов за счет улучшения естественной кормовой базы (количества фито- и зоопланктона). При дозе внесения в пруды 600 кг/га гуматсодержащих отходов рыбопродуктивность на 17 % оказалась выше нормативной для выростных прудов и на 12 % — для нагульных карповых прудов [54].

Обсуждение и заключение. В результате обзора научных исследований за последние два десятилетия по использованию кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве было выявлено, что чаще всего в качестве сорбентов применяются: активная кормовая добавка из древесного угля, цеолиты, гуминовые кислоты, гуматы. Причем эти соединения могут использоваться как для пресноводных, так и для морских рыб. Графически процентное количество работ, в которых доказана эффективность применения тех или иных кормовых добавок с сорбционными свойствами, представлено в виде диаграммы (рис. 2). Основные направления применения кормовых добавок с сорбционными свойствами — улучшение физиологических показателей организма рыб и повышение рентабельности производства.

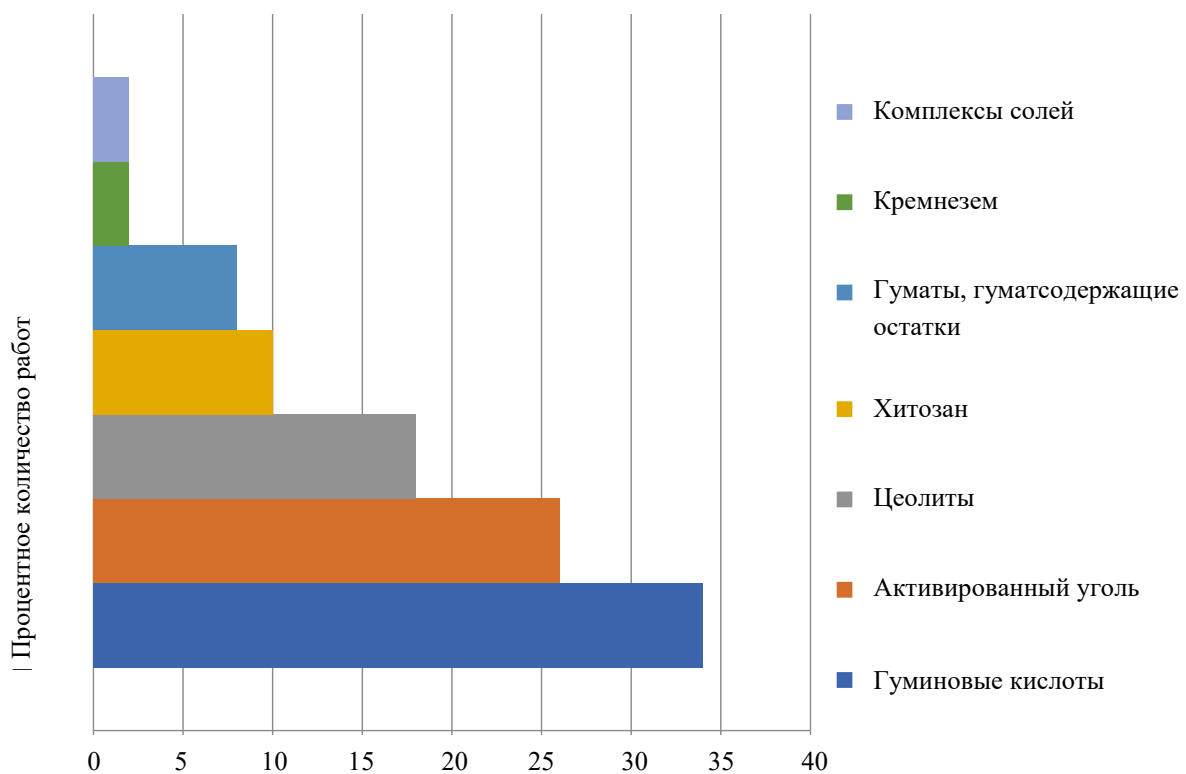


Рис. 2. Количество работ из обзора, в которых доказана эффективность кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве, %

Активная угольная кормовая добавка, а также пеллоидно-угольная кормовая добавка показали хорошие результаты при добавлении в рацион молоди шипа: зарегистрировано увеличение массы, снижение кормового коэффициента и затрат на корма. Гистоморфологические исследования выявили активный белковый обмен и улучшение клеточной структуры печени шипа [10–13]. Включение в рацион гигантского каранкса АУКД стимулировало повышение выживаемости и состояние желудочно-кишечного тракта [14, 15]. Снижение уровня токсикантов (тяжелые металлы, аммиак, пестициды) в организме рыб, положительное влияние на микробиом кишечника и антиоксидантные ферменты — также результат действия угольной добавки [11, 13, 16–20].

Цеолиты признаны натуральными энтеросорбентами тяжелых металлов, радионуклеидов, аммиачного азота. Кроме того, эти соединения оказывают влияние на окисление витамина С, увеличивают срок годности кормов, их лёжкость, могут заменить некоторые компоненты комбикормов, уменьшив таким образом их себестоимость [28, 29]. Внесение цеолитов непосредственно в воду способствует снижению заболеваемости микотоксикозами и удалению из воды азотсодержащих соединений (аммиака, нитратов и нитритов) [1]. Улучшение физиологических и гематологических показателей зафиксировано при включении цеолитов в рацион карпа, осетровых, австралийского красноклещевого рака [28, 30–34].

Кормовые добавки на основе гуминовых кислот рекомендуют для активации роста, повышения рентабельности производства и естественной рыбопродуктивности прудов [38–54].

Сорбционные свойства хитозана, кремнезема, комплексов некоторых солей также нашли применение в аквакультуре. Хитозан, кремнезем в наноформе — биологически активные сорбенты, оказывающие антибактериальный, ростостимулирующий эффект на организм рыб и защищающие комбикорма от заселения плесневых грибов [21–26].

Комплекс солей железо-гексацианоферрат калия (в количестве 5 %) и железо-гексацианоферрат (в количестве 95 %) в форме мелкодисперсного порошка эффективно снижает радионуклеиды цезия, марганца, рубидия, талия, кобальта в кормах для рыб [27].

Применение кормовых добавок с сорбционными свойствами в аквакультуре в настоящее время является весьма актуальным и перспективным. Их можно использовать для профилактики заразных и незаразных болезней рыб, ускорения роста и снижения кормовых затрат в рыбоводстве, получения экологически чистой продукции гидробионтов. Для повышения продуктивности прудов и очищения воды в рыбоводных емкостях от токсических веществ возможно также внесение природных сорбентов непосредственно в воду. Вещества с сорбционными свойствами являются дешевым и доступным материалом.

Несмотря на многочисленные исследования, проведенные как отечественными, так и зарубежными авторами, дозировки при включении в рацион большинства объектов рыбоводства сорбентов не установлены, мало изучен механизм их действия на рыб. Также нет информации по продолжительности и частоте использования кормовых добавок с сорбционными свойствами в производственных условиях. В то же время масштабное развитие аквакультуры и необходимость получения в короткие сроки больших объемов рыбной продукции создают основания для поиска новых веществ, положительно влияющих на рост и жизнедеятельность рыб. Это обуславливает необходимость проведения более масштабных работ в этом направлении, касающихся разработки рационов для основных объектов аквакультуры с учетом возраста и различных условий выращивания, получения достоверных данных по безопасности и отсутствию токсического эффекта при включении в рацион, синергизму или антагонизму при совместном использовании различных кормовых добавок.

Список литературы / References

1. Федотов А.А., Алтухов Н.М., Жуков И.В. Эффективность цеолитов при выращивании рыбы в искусственных водоемах. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2012;(1(32)):77–79.
Fedotov AA, Altukhov NM, Zhukov IV. Efficacy of Zeolites in Fish Breeding in Artificial Water Reservoirs. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2012;1(32):77–79. (In Russ.)
2. Fiorella KJ, Okronipa H, Baker K, Heilpern S. Contemporary Aquaculture: Implications for Human Nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021;70:83–90. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.11.014>
3. Удинцев С.Н., Жилиякова Т.П. Применение препаратов на основе гуминовых соединений в аквакультуре. *Рыбное хозяйство*. 2016;(2):82–86.
Udintsev SN, Zhilyakova TP. The Use of Humic Compounded Preparations in Aquaculture. *Fisheries*. 2016;2:82–86. (In Russ.)
4. Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, et al. A 20-Year Retrospective Review of Global Aquaculture. *Nature*. 2021;591:551–563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
5. Valladão GM, Gallani SU, Pilarski F. Phytotherapy as an Alternative for Treating Fish Disease. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2015;38(5):417–428. <https://doi.org/10.1111/jvp.12202>

6. Canham R, Gonzales-Prieto AM, Elliott JE. Mercury Exposure and Toxicological Consequences in Fish and Fish-Eating Wildlife from Anthropogenic Activity in Latin America. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021;17(1):13–26. <https://doi.org/10.1002/ieam.4313>
7. Connolly M, Martinez-Morcillo S, Kalman J., Navas J-M, Bleeker E, Fernández-Cruz M-L. Considerations for Bioaccumulation Studies in Fish with Nanomaterials. *Chemosphere*. 2023;312(Pt.1):137299. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137299>
8. Архипская Е.В., Якушкин И.В. Практическое значение и эффективность применения энтеросорбентов в животноводстве. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2016;(S2):16.
Arhitskaya EV, Yakushkin IV. The Practical Significance and Efficiency of Applying the Chelators in Animal Husbandry. *Ehlektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU (Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University)*. 2016;(S2):16. (In Russ.)
9. Калайда А.А. Влияние энтеросорбентов на окисление витамина С. В: *Материалы XIV Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова*. Казань: Казанский государственный энергетический университет; 2019. С. 356–366.
Kalaida AA. Influence of Enterosorbents on Vitamin C Oxidation. In: *Proceedings of the XIV International Youth Scientific Conference “Tinchurin Readings”. In 3 Vol.* Abdullazyanov EYu (Ed.). Kazan: Kazan State Power Engineering University; 2019. P. 356–366. (In Russ.)
10. Максим Е.А., Юрина Н.А., Данилова А.А. Способ повышения роста и развития молоди рыбы. В: *Материалы II Национальной научно-практической конференции «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны»*. Санкт-Петербург: ООО "ЦеСАин"; 2017. С. 126–133.
Maksim EA, Yurina NA, Danilova AA. Method of Increasing the Growth and Development of Young Fish. In: *Proceedings of the II National Scientific and Practical Conference “State and Ways of Development of Aquaculture in the Russian Federation in the Context of Import Substitution and Food Security of the Country”*. Saint Petersburg: “TseSAin” Publ. LLC; 2017. P. 126–133. (In Russ.)
11. Чернышов Е.В., Тлецерук И.Р., Юрина Н.А. Повышение роста молоди рыб при помощи кормовых добавок. *Новости науки в АПК*. 2018;(2–1(11)):494–496. <https://doi.org/10.25930/v48r-2r57>
Chernyshov EV, Tletseruk IR, Yurina NA. Increasing the Growth of Young Fish Using Fodder Additives. *Novosti nauki v APK (Agribusiness Science News)*. 2018;2–1(11):494–496. (In Russ.) <https://doi.org/10.25930/v48r-2r57>
12. Остренко К.С., Юрина Н.А., Чернышов Е.В., Овчарова А.Н. Использование сорбционной кормовой добавки в кормлении молоди рыб. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2020;3:98–105. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.3.98-105>
Ostrenko KS, Yurina NA, Chernyshov EV, Ovcharova AN. Use of Sorption Feed Additive in the Feeding of Young Fish. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Problems of Productive Animal Biology)*. 2020;3:98–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.3.98-105>
13. Чернышов Е.В., Тлецерук И.Р., Юрина Н.А., Максим Е.А. Влияние скармливания сорбента в составе комбикорма на химический состав тела молоди осетровых рыб и содержание в нем тяжелых металлов. *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*. 2017;6(1):257–262.
Chernyshov EV, Tletseruk IR, Yurina NA, Maxim EA. Effect of the Sorbent in Composition of the Compound Feed on Chemical Composition of Young Sturgeon Body and Content of Heavy Metals. *Collection of Scientific Papers of Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine*. 2017;6(1):257–262. (In Russ.)
14. Firdus F, Samadi S, Muhammadar AA, Sarong MA., Muchlisin ZA, Sari W, et al. Supplementation of Rice Husk Activated Charcoal in Feed and its Effects on Growth and Histology of the Stomach and Intestines from Giant Trevally, *Caranx Ignobilis*. *F1000Research*. 2021;9:1274. <https://doi.org/10.12688/f1000research.27036.2>
15. Firdus F, Samadi S, Muhammadar AA, Sarong MA, Muchlisin ZA, Sari W, et al. Gut and Intestinal Biometrics of the Giant Trevally, *Caranx Ignobilis*, Fed an Experimental Diet with Difference Sources of Activated Charcoal. *F1000Research*. 2020;9:444. <https://doi.org/10.12688/f1000research.23788.2>
16. Abd El-hameed SAA, Negm SS, Ismael NEM, Naiel MAE, Mohamed Mohamed Soliman MM, Shukry M, et al. Effects of Activated Charcoal on Growth, Immunity, Oxidative Stress Markers, and Physiological Responses of Nile Tilapia Exposed to Sub-Lethal Imidacloprid Toxicity. *Animals*. 2021;11(5):1357. <https://doi.org/10.3390/ani11051357>
17. Elhetawy AIG, Abdel-Rahim MM, Sallam AE, Shahin SA, Lotfy AMA, El Basuini MF. Dietary Wood and Activated Charcoal Improved Ammonium Removal, Heavy Metals Detoxification, Growth Performance, Blood Biochemistry, Carcass Traits, and Histopathology of European Seabass. *Aquaculture Nutrition*. 2023;2023(1):8860652. <https://doi.org/10.1155/2023/8860652>

18. Wu CC, Connell M, Zarb A, Akemann C, Morgan S, McElmurry SP, et al. Point-of-Use Carbon-Block Drinking Water Filters Change Gut Microbiome of Larval Zebrafish. *Environmental Microbiology Reports*. 2022;14(4):655-663. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.13077>
19. Ju K, Kil M, Ri S, Kim T, Kim J, Shi W, et al. Impacts of Dietary Supplementation of Bamboo Vinegar and Charcoal Powder on Growth Performance, Intestinal Morphology, and Gut Microflora of Large-Scale Loach *Paramisgurnus dabryanus*. *Journal of Oceanology and Limnology*. 2023;41:1187–1196. <https://doi.org/10.1007/s00343-022-1412-y>
20. Jiang F, Lin Y, Miao L, Hao J. Addition of Bamboo Charcoal to Selenium (Se)-Rich Feed Improves Growth and Antioxidant Capacity of Blunt Snout Bream (*Megalobrama amblycephala*). *Animals*. 2021;11(9):2585. <https://doi.org/10.3390/ani11092585>
21. Collado-González M, Esteban MA. Chitosan-Nanoparticles Effects on Mucosal Immunity: A Systematic Review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;130:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.030>
22. Ingle PU, Shende SS, Shingote PR, Mishra SS, Sarda V, Wasule DL, et al. Chitosan Nanoparticles (Chnps): A Versatile Growth Promoter in Modern Agricultural Production. *Heliyon*. 2022;8(11):e11893. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11893>
23. Dawood MAO, Gewaily MS, Soliman AA, Shukry M, Amer AA, Younis EM, et al. Marine-Derived Chitosan Nanoparticles Improved the Intestinal Histo-Morphometrical Features in Association with the Health and Immune Response of Grey Mullet (*Liza ramada*). *Marine Drugs*. 2020;18(12):611. <https://doi.org/10.3390/md18120611>
24. Aly SM, Eissa AE, Abdel-Razek N, El-Ramlawy AO. The Antibacterial Activity and Immunomodulatory Effect of Naturally Synthesized Chitosan and Silver Nanoparticles against *Pseudomonas Fluorescence* Infection in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): An in Vivo Study. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;135:108628. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108628>
25. Ismael NEM, Abd El-Hameed SAA, Salama AM, Naiel MAE, Abdel-Latif HMR. The Effects of Dietary Clinoptilolite and Chitosan Nanoparticles on Growth, Body Composition, Haemato-Biochemical Parameters, Immune Responses, and Antioxidative Status of Nile Tilapia Exposed to Imidacloprid. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(23):29535–29550. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12693-4>
26. Лапин А.А., Чугунов Ю.В., Говоркова Л.К., Потапов В.В., Зеленков В.Н., Штыров И.Н. Применение нанодисперсного кремнезема в качестве энтеросорбента при выращивании рыбы. В: *Сборник научных трудов. Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. Под общей редакцией Зеленкова В.Н.* Москва: Российская академия естественных наук; 2016. С. 9–29.
- Lapin AA, Chugunov YV, Govorkova LK, Potapov VV, Zelenkov VN, Shtyrov IN. Application of Nanodispersed Silica as an Enterosorbent in Fish Farming. In: *Collection of Scientific Papers "Non-Traditional Natural Resources, Innovative Technologies and Products"*. Vol. 23. Zelenkov VN (Ed.). Moscow: Rossiiskaya akademiya estestvennykh nauk; 2016. P. 9–29. (In Russ.)
27. Васюкевич Т.А., Нитиевская Л.С. Использование дезактивирующих свойств некоторых сорбентов в производстве кормов для аквакультуры. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2014;54(6):613–620. <https://doi.org/10.7868/S0869803114050166>
- Vasukevich TA, Nitievskaya LS. Application of Deactivating Properties of Some Sorbents in Aquaculture Feed Production. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya (Radiation biology. Radioecology)*. 2014;54(6):613–620. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869803114050166>
28. Матвеева А.Ю. Влияние минеральной добавки «Баймакские цеолиты» на физиологическое состояние сеголетков карпа (*Cyprinus carpio*). В: *Инновационные технологии в науке и образовании: актуальные вопросы и достижения*. Монография. Пенза: Наука и Просвещение; 2016. С. 101–113.
- Matveeva AYU. Influence of the Mineral Additive "Baymak Zeolites" on the Physiological State of This-Year-Born Carp (*Cyprinus Carpio*). In book: *Innovative Technologies in Science and Education: Topical Issues and Achievements*. Monograph. Penza: Nauka i Prosveshchenie; 2016. P. 101–113. (In Russ.)
29. Поляков А.Д., Бузмаков Г.Т., Рассолов С.Н. Использование цеолитового туфа в качестве добавки в рацион сеголетков карпа. *Современные наукоемкие технологии*. 2009;(2):35–36.
- Polyakov AD, Buzmakov GT, Rassolov SN. Use of Zeolite Tuff as an Additive in the Ration of Carp Segolytes. *Sovremennye naukoymkie tekhnologii*. 2009;(2):35–36. (In Russ.)
30. Баканева Ю.М., Баканев Н.М., Федоровых Ю.В. Минеральное питание осетровых рыб. *Вестник Государственной полярной академии*. 2014;(1(18)):17–18.
- Bakaneva YM, Bakanev NM, Fedorovykh YV. Mineral Nutrition of Sturgeon Fish. *Vestnik Gosudarstvennoy polyarnoi akademii (Bulletin of the State Polar Academy)*. 2014;(1(18)):17–18. (In Russ.)
31. Баканева Ю.М., Бычкова А.П., Баканев Н.М., Федоровых Ю.В. Природные цеолиты в производственных комбикормах для осетровых рыб. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2013;(1):162–166.

Bakaneva YuM, Bychkova AP, Bakanev NM, Fedorovykh YuV. Natural Ceolites in the Productive Diets for Sturgeon Fish. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2013;1:162–166. (In Russ.)

32. Ponomarev SV, Levina OA, Fedorovykh YuV, Akhmedzhanova AB. Evaluating Effectiveness of Biologically Active Additives with Antioxidant Effect in Combination with Vitamin E in Fish Food Composition. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2022;(3):39–47. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-39-47>

33. Ширина Ю.М., Конькова А.В., Файзулина Д.Р., Богатов И.А. Минеральная добавка «Цеолит» на основе природной опоки в кормах для рыб и ракообразных. В: *Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы комплексной безопасности Каспийского макрорегиона»*. Под общей редакцией А.П. Романовой, Д.А. Черничкина. Астрахань: Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева; 2023. С. 338–343.

Shirina YuM, Konkova AV, Faizulina DR, Bogatov IA. Mineral Additive "Zeolite" Based on Natural Opoka in Fish and Crustacean Feeds. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Complex Security of the Caspian Macro-Region"*. Romanova AP, Chernichkin DA (Eds.). Astrakhan: Astrakhan State University Named after V.N. Tatishchev; 2023. P. 338–343. (In Russ.)

34. Котельников А.В., Котельникова С.В., Ширина Ю.М., Пономарев С.В. Морфологическая характеристика печени и кишечника карпа при использовании опоки в качестве добавки к корму. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2019;(3):117–124. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-3-117-124>

Kotelnikov AV, Kotelnikova SV, Shirina YuM, Ponomarev SV. Morphological Characteristics of Liver and Intestine of Carp when Using Gaize as Feed Supplement. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2019;(3):117–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-3-117-124>

35. Adamiano A, Fellet G, Vuerich M, Scarpin D, Carella F, Piccirillo C, et al. Calcium Phosphate Particles Coated with Humic Substances: A Potential Plant Biostimulant from Circular Economy. *Molecules*. 2021;26(9):2810. <https://doi.org/10.3390/molecules26092810>

36. Jansen van Rensburg C, van Rensburg CEJ, van Ryssen JBJ, Casey NH, Rottinghaus GE. In Vitro and in Vivo Assessment of Humic Acid as an Aflatoxin Binder in Broiler Chickens. *Poultry Science*. 2006;85(9):1576–1583. <https://doi.org/10.1093/ps/85.9.1576>

37. Sallam SMA, Ibrahim MAM, Allam AM, El-Waziry AM, Attia MFA, Elazab MA, et. al. Feeding Damascus Goats Humic or Fulvic Acid Alone or in Combination: In Vitro and In Vivo Investigations on Impacts on Feed Intake, Ruminal Fermentation Parameters, and Apparent Nutrients Digestibility. *Tropical Animal Health and Production*. 2023;55:265. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03672-7>

38. Васильев А.А., Коробов А.А., Зименс Ю.Н. Опыт использования гуминовых кислот в составе комбикорма при выращивании клариевого сома. *Аграрный научный журнал*. 2022;(4):57–60. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp57-60>

Vasiliev AA, Korobov AA, Zimens YuN. Experience in the Use of Humic Acids in the Composition of Compound Feeds in the Cultivation of Clary Catfish. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;(4):57–60. (In Russ.) <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp57-60>

39. Васильев А.А., Тарасов П.С., Туренко О.Ю. Эффективность использования гуминовых кислот в кормлении осетровых в условиях УЗВ. *Рыбное хозяйство*. 2019;(5):89–92.

Vasiliev AA, Tarasov PS, Turenko OYu. Effectiveness of Humic Acids Use in Sturgeon Feeding in RAS. *Fisheries*. 2019;(5):89–92. (In Russ.)

40. Коробов А.А., Зименс Ю.Н., Васильев А.А., Тищенко П.И., Скачкова О.А. Продуктивность клариевого сома при скормлинии гуминовых веществ. *Зоотехния*. 2022;(7):26–30. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.63.87.008>

Korobov AA, Ziemens JN, Vasiliev AA, Tishenkov PI, Skachkova OA. Productivity of Clarias Gariepinus Feeding Humic Substances. *Zootechniya*. 2022;(7):26–30. (In Russ.)

41. Ale A, Galdopórpóra JM, Desimone MF, de la Torre FR, Cazenave J. Nanosilver and Silver Nitrate Toxicity in Ex Vivo-Exposed Gills of Fish and Mitigation by Humic Acids. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2021;107:421–426. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03257-w>

42. Vasiliev AA. Global Experience of Using Humic Acid in Cattle Breeding. *Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologiy (Fundamentals and Perspectives of Organic Biotechnologies)*. 2019;(1):3–4.

43. Manieson V.E., Kacheпа U.E., Vasiliev A.A. Use of Humic Acid in Cattle Production. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018;(5):35–36.

44. Ермаков М.Д. Эффективность использования гуминовых кислот при кормлении ленского осетра комбинированными кормами в условиях УЗВ. В: *Материалы конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы за 2020 год*. Под общей редакцией Н.В. Неповинных, О.М. Поповой. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ»; 2021. С. 90–93.

Ermakov MD. The Effectiveness of the Use of Humic Acids in Feeding the Lena Sturgeon with Combined Feeds in the Conditions of ICW. In: *Proceedings of the Conference on the 2020 Results in Research, Teaching and Educational Work of the Faculty Members and Postgraduate Students*. Nepovinnikh NV, Popova OM (Eds.). Saratov: "Center for Social Agroinnovations of Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering Named after N.I. Vavilov", LLC; 2021. P. 90–93. (In Russ.)

45. Туренко О.Ю., Васильев А.А., Гусева Ю.А., Гроза Е.В. Экономическая эффективность использования «Reasil®Humic Health» при выращивании осетровых. *Аграрный научный журнал*. 2021;(5):75–78. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i5pp75-78>

Turenko OYu, Vasiliev AA, Guseva YuA, Groza EV. Economic Efficiency of the Use of "Reasil®Humic Health" during Sturgeon Rearing. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;(5):75–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i5pp75-78>

46. Васильев А.А. Коробов А.П., Москаленко С.П., Сивохина Л.А., Кузнецов М.Ю. Значение, теория и практика использования гуминовых кислот в животноводстве. *Аграрный научный журнал*. 2018;(1):3–6.

Vasiliev AA, Korobov AP, Moskalenko SP, Sivokhina LA, Kuznetsov MYu. Value, Theory and Practice Use of Humic Acids in Animal Husbandry. *Agrarian Scientific Journal*. 2018;(1):3–6. (In Russ.)

47. Guseva YuA, Vasiliev AA, Moskalenko SP, Zabelina MV, Lushnikov VP, Kalyuzhny II. The Effect of Pancreatic Hydrolysate of Soy Protein on Growth, Development and Amino Acid Composition of Muscle Tissues in Lena Sturgeons. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017;9(12):2516–2519. URL: <https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol9Issue12/jpsr09121743.pdf> (accessed: 10.08.2024)

48. Prokešová M, Bušová M, Zare M, Tran HQ, Kučerová E, Ivanova AP, et al. Effect of Humic Substances as Feed Additive on the Growth Performance, Antioxidant Status, and Health Condition of African Catfish (*Clarias Gariepinus*, Burchell 1822). *Animals*. 2021;11(8):2266. <https://doi.org/10.3390/ani11082266>

49. Жилиякова Т.П., Удинцев С.Н. Применение кормовой добавки Гумитон при выращивании карпа в аквакультуре. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;31(12):50–52.

Zhilyakova TP, Udintsev SN. Application of Gumiton Feed Additive in Carp Breeding in Aquaculture. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017;31(12):50–52. (In Russ.)

50. Yamin G, Falk R, Avtalion RR, Shoshana N, Ofek T, Smirnov R, et al. The Protective Effect of Humic-Rich Substances on Atypical Aeromonas Salmonicida Subsp. *Salmonicida* Infection in Common Carp (*Cyprinus Carpio* L.). *Journal of Fish Diseases*. 2017;40(12):1783–1790. <https://doi.org/10.1111/jfd.12645>

51. Васильев А.А., Корсаков К.В., Москаленко С.П., Кузнецов М.Ю., Сивохина Л.А., Китаев И.А. и др. Кормовые добавки на основе гуминовых кислот из леонардита против микотоксинов. *Кормопроизводство*. 2018;(5):33–37. <https://doi.org/10.25685/KRM.2018.2018.13028>

Vasiliev AA, Korsakov KV, Moskalenko SP, Kuznetsov MYu, Sivokhina LA, Kitaev IA. Leonardite Humic Acids as a Component of Feed Additives against Mycotoxins. *Feed Production*. 2018;(5):33–37. (In Russ.)

52. Коровушкин А.А., Нefeldова С.А., Якунин Ю.В., Барышев Р.В. Эффективность использования немодифицированных микропористых гуминовых кислот из леонардита в рационе карпов. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019;3(43):59–64.

Korovushkin AA, Nefedova SA, Yakunin YuV, Baryshev RV. Efficiency of Use of Non-Modified Microporous Humic Acids from Leonardite in the Diet of Carp. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2019;3(43):59–64. (in Russ.)

53. Макеенко А.А. Безотходное использование продуктов химической деструкции торфа при производстве гуминовых препаратов. *Труды Инсторфа*. 2019;(19(72)):49–52.

Makeyenko AA. Wasteless Use of Peat Chemical Destruction Products of Humic Preparations Production. *Trudy Instorfa (Proceedings of Instorfa)*. 2019;19(72):49–52. (In Russ.)

54. Лиштван И.И., Наумова Г.В., Пантелей С.Н., Жмакова Н.А., Овчинникова Т.Ф., Макарова Н.Л. и др. Эффективность использования отходов, образующихся при производстве гуминовых препаратов, в прудовом рыбководстве. *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2020;16(4):4–10.

Lishtvan II, Naumova GV, Pantelei SN, Zhmakova NA, Ovchinnikova TF, Makarova NL et al. The Efficiency of Using the Humic Preparations' Production Waste at Pond Fish Farming. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2020;16(4):4–10. (In Russ.)

Об авторах:

Юлия Владимировна Килякова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (460018, Российская Федерация, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13), [SPIN-код](#), [ORCID](#), fish-ka06@mail.ru

Елена Петровна Мирошникова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (460018, Российская Федерация, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13), [SPIN-код](#), [ORCID](#), elenaakva@rambler.ru

Азамат Ерсанович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (460018, Российская Федерация, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13), [SPIN-код](#), [ORCID](#), arin.azamat@mail.ru

Марина Сергеевна Мингазова, ассистент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (460018, Российская Федерация, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13); аспирант Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (460000, РФ, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), [ORCID](#), ms.mingazova@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Ю.В. Килякова: подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов.

Е.П. Мирошникова: научное руководство, корректировка выводов.

А.Е. Аринжанов: формирование основной концепции, цели и задач исследования, доработка текста.

М.С. Мингазова: помощь в доработке текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Yuliya V. Kilyakova, Cand.Sci. (Biology), Associate Professor of the Biotechnology of Raw Animal Materials and Aquaculture Department, Orenburg State University (13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), fish-ka06@mail.ru

Elena P. Miroshnikova, Dr.Sci. (Biology), Professor, Head of the Biotechnology of Raw Animal Materials and Aquaculture Department, Orenburg State University (13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), elenaakva@rambler.ru

Azamat E. Arinzhanov, Cand.Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Biotechnology of Raw Animal Materials and Aquaculture Department, Orenburg State University (13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), arin.azamat@mail.ru

Marina S. Mingazova, Assistant of the Biotechnology of Raw Animal Materials and Aquaculture Department, Orenburg State University (13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation); Postgraduate Student, Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (29, January 9th Str., 29, Orenburg, 460000, Russian Federation), [ORCID](#), ms.mingazova@gmail.com

Claimed Contributorship:

YuV Kilyakova: preparing the text, research results' analysis, formulating the conclusions.

EP Miroshnikova: scientific supervision, correcting the conclusions.

AE Arinzhanov: formulating the main concept, aim and objectives of the research, refining the text.

MS Mingazova: assistance in text refining.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 01.09.2024

Поступила после рецензирования / Revised 04.10.2024

Принята к публикации / Accepted 09.10.2024