



Особенности влияния гуминовых кислот на аквакультуру

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-120-128>

EDN: OLNBIY

Обзорная статья УДК 639.2.09

Закирова Елена Юрьевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ «Регенеративная ветеринария», Казань, Россия

E-mail: lenahamzina@yandex.ru

Аймалетдинов Александр Маазович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, НИЛ «Регенеративная ветеринария», Казань, Россия

E-mail: allekss1982@mail.ru

Мансурова Милана Николаевна – научный сотрудник, OpenLab Генные и клеточные технологии, Казань, Россия

E-mail: chirkova.milana@yandex.ru

Маланьева Альбина Геннадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, НИЛ «Регенеративная ветеринария», Казань, Россия

E-mail: aleksalbina@bk.ru

Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии

Адрес: Россия, 420021, г. Казань, ул. Карла Маркса, 74

Аннотация. Гуминовые вещества, в том числе гуминовая и фульвовая кислота, представляют собой класс природных комплексных соединений, обнаруженных в почве, воде и донных отложениях. В водных экосистемах гуминовые вещества оказывают важное влияние на свойства и функции природных водных систем, поскольку они играют непосредственную роль в формировании физической и химической среды водоема. Гуминовые вещества оказывают положительное воздействие на многие организмы, также улучшают некоторые жизненно важные параметры рыб - показатели роста, устойчивость к стрессу и иммунный ответ. Известно фунгистатическое действие гуминовых веществ на распространенного паразита пресноводных и морских рыб *Saprolegnia parasitica*, также снижают численность патогенных микроорганизмов *Vibrio harveyi* и *Acinetobacter* в кишечнике рыб. Однако, добавление гуминовой кислоты в высоких концентрациях в корм молоди обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*) вызывало не только улучшение роста и эффективности поедания корма, но и оказывало разрушительное воздействие на ткани жабр, печени и почек. Данная статья представляет собой обзор литературы, в которой исследуются преимущества и недостатки использования гуминовых веществ в аквакультуре.

Ключевые слова: рыбоводство, гуминовая кислота, фульвовая кислота, кормовая добавка

Для цитирования: Закирова Е.Ю., Аймалетдинов А.М., Мансурова М.Н., Маланьева А.Г. Особенности влияния гуминовых кислот на аквакультуру // Рыбное хозяйство. 2025. № 4. С. 120-128.
<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-120-128>

FEATURES OF THE INFLUENCE OF HUMIC ACIDS TO AQUACULTURE

Elena Yu. Zakirova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Research Institute of Regenerative Veterinary Medicine, Kazan, Russia

Alexander M. Aimaletdinov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Institute of Regenerative Veterinary Medicine, Kazan, Russia

Milana N. Mansurova – Researcher, OpenLab Gene and Cell Technologies, Kazan, Russia

Albina G. Malanyeva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,

Kazan Federal University, Institute of Fundamental Medicine and Biology

Address: Russia 420021, Kazan, Karl Marx St., 74

Annotation. Humic substances, including humic acid and fulvic acid, are a class of naturally occurring complex compounds found in soil, water and sediments. In aquatic ecosystems, humic substances have an important influence on the properties and functions of natural aquatic systems, as they play a direct role in shaping the physical and chemical environment of a water reservoir. Artificial fish farming has become necessary not only to meet the demand for edible animal proteins, but also to replenish and conserve depleted stocks and endangered fish populations. Humic substances have positive effects on many organisms, also improve some vital parameters of fish such as growth performance, stress tolerance and immune response. The fungistatic effect of humic substances on *Saprolegnia parasitica*, a common parasite of freshwater and marine fish, is known. Humic substances reduce the number of pathogens *Vibrio harveyi* and *Acinetobacter* in the intestines of fish. However, the addition of humic acid in high concentrations to the feed of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*) caused not only improved growth and feed eating efficiency, but also had detrimental effects on gill, liver and kidney tissues. This article is a literature review that explores the advantages and disadvantages of using humic substances in aquaculture.

Keywords: fish farming, humic acid, fulvic acid, feed additive

For citation: Zakirova E.Yu., Aimaletdinov A.M., Mansurova M.N., Malanyeva A.G. (2025). Features of the influence of humic acids to aquaculture. // Fisheries. No. 4. Pp. 120-128. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-120-128>

Рисунок – авторский / The drawing was made by the author

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире рыба и иная продукция водных биоресурсов относятся к продуктам, обеспечивающим продовольственную безопасность страны. Прогнозируется рост потребления рыбы вместе с ростом населения Земли. Благосостояние четверти миллиарда жителей планеты напрямую зависит от рыболовства и аквакультуры, которые являются одновременно и способом, и источником получения средств их существования. Повышение продуктивности и устойчивости аквакультуры может быть движущей силой в развитии сельских районов, посредством роста доходов и занятости населения, а также – страховкой от безработицы [1]. Общемировая тенденция состоит в том, чтобы сократить вылов рыбы из водоемов из-за возможности истребления свободноживущих

видов при параллельном увеличении выращивания аквакультуры в искусственных водоемах. При выращивании в искусственных водоемах рыба оказывает меньшее воздействия на окружающую среду, чем другие животные, разводимые человеком с целью употребления в пищу. Поэтому рыбоводство является более экологически устойчивой альтернативой для удовлетворения мировых продовольственных потребностей в животных продуктах. В связи с этим сектор аквакультуры имеет огромный потенциал роста [2].

Аквакультура существовала на протяжении тысячелетий, и теперь превосходит рыболовство как самый важный источник морепродуктов в мире. Искусственное разведение рыбы считается наиболее развивающимся сектором производства продуктов

питания [3]. Развитие рыбоводческих хозяйств требует разработки новых стратегий поддержания непрерывного роста производства аквакультуры, например, разработка аквакормов, обеспечивающих лучший рост и состояние здоровья рыб. При этом многие факторы, включая инфекции, загрязнение и стресс, могут привести к гибели рыб и значительным экономическим потерям. В результате чего индустрия аквакультуры не будет успешной без терапевтических и профилактических средств контроля этих факторов [4]. В рыбоводческих хозяйствах широко практикуется использование антибиотиков в аквакормах для смягчения инфекционных заболеваний или стимуляции скорости роста рыб [5]. Антибактериальные и противогрибковые вещества, давно используемые в практике аквакультуры, как правило, усугубляют проблему, увеличивая устойчивость к ним патогенов, исходя из этого пробиотики широко предлагаются в качестве экологически чистых альтернатив [6]. Особенно это касается антибиотиков и других терапевтических средств с кумуляционным эффектом, применяющихся при выращивании животных для последующего употребления в пищу человеком [7]. Профилактическое использование антибиотиков и химиотерапия в аквакультуре подверглись критике в обществе, что, в итоге, привело в некоторых странах к их законодательному

запрету. Ввиду существующих ограничений на использование антибиотиков имеется острая необходимость в оценке других возможных альтернатив. Эта тенденция полностью соответствует увеличивающемуся интересу потребителей к безопасным продуктам питания животного происхождения. Одним из потенциальных заменителей антибиотиков в аквакормах является использование функциональных кормовых добавок, к которым можно отнести и гуминовую субстанцию. Природное происхождение гуминовых веществ является весомым преимуществом перед искусственно синтезированными препаратами в лечении грибковых и вирусных инфекций, так как они практически не имеют нежелательных эффектов по сравнению с их традиционными аналогами. Однако выявленная в экспериментальных исследованиях биологическая активность гуминовых веществ не позволяет их широко использовать в связи с тем, что производители препаратов, изготовленных на основе гуминовых веществ, описывают широкий спектр лечебных свойств, не подкрепленных какими-либо значительными исследованиями [8].

Гуминовые вещества представляют собой специфическую группу высокомолекулярных биополимеров, таких как лигнин, дубильные вещества, целлюлоза и кутин, образующихся в процессе разложения рас-



Рисунок 1. Факторы и условия формирования гуминовых веществ.

Figure 1. Factors and conditions for the formation of humic substances.

тительной и животной ткани [9], и делятся на гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины, на основе их растворимости в воде, кислых или щелочных растворах [10]. Сложность строения гуминовых веществ вызвана различными факторами и условиями их формирования (рис. 1). Способы, которые применяются для извлечения гуминовых веществ из природных объектов, оказывают существенное влияние как на их состав, так и на свойства [11].

Гуминовые кислоты – химически неоднородные соединения, содержащие различные типы функциональных групп в разной пропорции и конфигурации. Структурные особенности этих кислот позволяют им участвовать в биохимических реакциях, образовывать комплексные соединения и проявляют поверхностно-активные свойства как коллоидные системы. Кроме того, гуминовые кислоты могут служить источником структурных фрагментов органических макромолекул при биосинтезе, происходящем в живых организмах. Все вышеперечисленные свойства гуминовых кислот и обуславливают их разнообразную биологическую активность. Однако выделить в структуре макромолекулы гуминовой кислоты участок или функциональные группы, определяющие конкретный вид биологической активности – очень сложная задача. Гуминовые кислоты проявляют антиоксидантную активность. Это связано с наличием большого количества хиноидных групп, являющихся катализаторами окислительно-восстановительных реакций [8]. Их противовоспалительная активность объясняется способностью снижать генерацию кислородных радикалов и уменьшать потребление кислорода активированными фагоцитами [12]. Гуминовые кислоты обладают противовирусной активностью, механизм которой объясняется способностью их полимерных молекул препятствовать прикреплению вируса на клеточной мемbrane [13]. Также существуют данные о сорбционных свойствах гуминовых кислот. Этот механизм определен их способностью проявлять свойства комплексообразователей, а не механических энтеросорбентов. Этим они отличаются от поверхностно-активных адсорбентов (активированный уголь, силикаты и минералы глины) [14].

Фульвовая кислота представляет собой фракцию гуминового вещества с низкой молекулярной массой, соединение с короткой цепью, растворяющееся в кислотном или щелочном растворе. Она содержит карбок-

сильные, фенольные, гидроксильные, аминные и хининовые функциональные группы и обладает ярко выраженной способностью к комплексообразованию с тяжелыми металлами [15]. В отношении аквакультуры реакционноспособные функциональные группы фульвокислоты могут быть полезны для хелатирования металлов, антиоксидантной активности, управления стрессом, иммуностимуляции, противовоспалительной активности и противовирусных свойств [16]. Также гуминовые вещества, такие как гуминовая и фульвовая кислоты, потенциально обладают свойствами иммуностимуляторов [4].

В настоящее время появляются публикации о том, что различные гуминовые вещества, имеют положительное влияние на общее состояние различных видов рыб [17]. Они могут быть функциональной добавкой к аквакормам в рыбоводстве, поскольку при скармливании их сельскохозяйственным животным были обнаружены ростостимулирующие и иммуностимулирующие эффекты этих веществ [18]. Добавление гуминовых веществ в рационы сельскохозяйственных животных стимулирует обменные процессы и переваримость питательных веществ, а также активизирует всасывание некоторых минеральных элементов. Например, включение такой биологически активной добавки в рацион поросят оказывает стимулирующее действие на клеточный иммунитет без негативного влияния на гематологические и биохимические показатели животных [19].

С помощью гуминовых веществ можно провести коррекцию природных микробных сообществ в водной среде аквакультуры. Это считается многообещающим средством подавления распространения условно-патогенных микроорганизмов и улучшения здоровья рыб. Однако необходимые условия, при которых производители рыбы могут активно управлять этими сообществами, до сих пор в значительной степени неизвестны. Результаты исследования Louvado (2021) показали, что введение гуминовых веществ в воду для выращивания рыбы может быть интересной стратегией управления бактериальными сообществами в системах морской аквакультуры. Такую стратегию можно использовать для увеличения микробного разнообразия слизи рыб и снижения количества потенциальных патогенов кишечника. В частности, гуминовые вещества снижали численность патогенных микроорганизмов *Vibrio harveyi* и *Acinetobacter* в кишечнике

рыб экспериментальной группы. Результаты работы раскрывают потенциальную роль растворенных гуминовых веществ в модулировании микробных сообществ аквакультуры [20].

Также известно, что добавление в воду гуминовых кислот вызывало увеличение массы тела меченосцев (*Xiphophorus helleri*), по сравнению с контрольной группой. Исследователи предполагают, что гуминовые кислоты стимулируют метаболизм рыб. Также они отметили дозозависимое увеличение количества самок в экспериментальной популяции рыб. При этом установлено, что гуминовые кислоты осуществляют свое влияние на организм рыб не только через желудочно-кишечный тракт, но и через жабры [17].

Гуминовые вещества поглощаются практически всеми водными организмами и могут взаимодействовать с ними. Известно фунгистатическое действие гуминовых веществ на распространенного паразита пресноводных и морских рыб *Saprolegnia parasitica*. Исследования Meinelt (2007) показали, что гуминовые вещества с более высокой молекулярной массой и ароматичностью, которые содержат большое количество органических радикалов, являются наиболее эффективными в снижении роста этих грибков. Развитие внутреннего окислительного стресса может быть механизмом, объясняющим наблюдаемое ингибирование роста *S. parasitica* [21]. Гуминовые вещества стимулируют защитные механизмы организма рыб против патогенных грибков. Так, у аквакультуры обыкновенного карпа значительно снизился уровень заражения *A. salmonicida* после перорального применения богатого гумином ила [22]. Аналогичные результаты были ранее получены Kodama и др. (2007) после перорального введения экстрактов гумуса аквакультуре карпа, инфицированной *A. salmonicida* [23].

Обогащение воды для выращивания рыбы и корма гуминовыми веществами уменьшало степень естественного заражения эктопаразитами *Gyrodactylus turnbulli* и *Dactylogyrus sp.* у гуппи (*Poecilia reticulata*). Результаты проведенных исследований показали, что защитный эффект был обусловлен физиологическими изменениями, вызванными гуминовыми веществами у рыб, а не прямым их воздействием на паразитов [24].

При добавлении гуминовой кислоты в корм молоди азиатского морского окуня (*Lates calcarifer*) улучшалась усвоемость

корма, стимулировалась работа метаболических ферментов, оптимизировался химический состав крови и содержание кальция в костях. Пищевая добавка с гуминовой кислотой противодействовала вредному воздействию Cd на рост рыбы [25]. В то же время добавление гуминовой кислоты в концентрациях 180 и 360 мг/кг корма, при кормлении молоди обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*), вызывало не только улучшение роста и эффективности поедания корма, но и оказывало разрушительное воздействие на ткани жабр, печени и почек. В жабрах рыб опытных групп исследователи отмечали шелушение и некроз. Помимо застойных явлений наблюдались подъем пластиначатого эпителия, отек, эпителиальная гиперплазия и сращивание вторичных пластинок. Гистоморфологические исследования печени выявили цитоплазматическую и ядерную дегенерацию и фиброз в дополнение к лимфатической инфильтрации. Наблюдались также повреждения в тканях почек рыб, которых кормили гуминовыми кислотами. Они характеризовались дегенерацией эпителиальных клеток почечных канальцев, дегенерацией клубочков и отложением гиалиновых масс в почечных канальцах [5].

Кормление молоди форели (*Oncorhynchus mykiss*) кормом, обогащенным натриевой солью гуминовой кислоты в течение 60 дней с последующим заражением рыб *Y. ruckeri* показало, что включение гуминовой кислоты в рацион увеличивает активность желудочного пепсина и активность амилазы, липазы и трипсина в кишечнике. Это не стимулировало прирост массы тела рыбы, но повышало иммунитет и выживаемость в опытной группе после заражения [26]. Соли гуминовых кислот, такие как гумат натрия также оказывают положительный эффект на аквакультуру тилапии (*Oreochromis niloticus*). Включение в рацион 0,28-0,37% гумата натрия улучшило рост и здоровье рыб, а также повышало активность пищеварительных ферментов кишечника. Применение данного соединения при выращивании тилапии повышало устойчивость рыб к *Aeromonas Hydrophila*. Исходя из полученных данных, исследователи сделали вывод, что гумат натрия может быть использован в качестве полезной кормовой добавки в рационах тилапии [27].

Известно, что естественная выживаемость рыб до взрослого состояния часто ниже 1% с исключительно высокой смертностью на ранних стадиях [28]. Поэтому часть исследований по влиянию гуминовых

веществ направлена на изучение их воздействия на икру и мальков рыб. Добавление гуминовой кислоты в инкубаторы с оплодотворенной икрой радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) способствовало уменьшению грибковых и бактериальных инфекций. Согласно полученным данным, в инкубаторе увеличилось бактериальное изобилие *Burkholderiales*, имеющее положительную корреляцию со здоровыми икринками и уменьшилось количество *Flavobacterium* и *Aeromonas*, известных патогенов рыб. Одновременно исследователи отметили повышение выживаемости икринок в опытных группах [29]. Гуминовая кислота в концентрации 5% и 10% снижала уровень нитритов и нитратов в водной среде, что существенно снижало смертность икринок и выживаемость мальков африканских цихлид. Определение морфологических показателей молоди цихлид выявило, к концу периода наблюдения, увеличение длины тела в группах, подвергавшихся воздействию гуминовых кислот в концентрациях 5 и 10%, по сравнению с контрольной группой, за счет более раннего рассасывания желточного мешка [30]. Фульвовая кислота в концентрации от 20 до 200 мг органического углерода на литр (С/л) ускоряет вылупление мальков рыбок данио (*Danio rerio*) из икры. Это позволяет малькам быстрее переключаться на экзогенное питание, что делает возможным использовать кормовые добавки для дальнейшего улучшения общего состояния здоровья рыб. Воздействие концентраций фульвовой кислоты выше 300 мг С/л приводит к активации пути *keap1-nrf2* и окислительному стрессу, вызывающему повреждение тканей и смертность мальков. Интересно, что при средних концентрациях (50 мг С/л) механизмы окислительной защиты также активировались без каких-либо очевидных проявлений. Выращивание мальков рыбок данио в присутствии фульвокислоты в концентрациях 5 мг С/л и 50 мг С/л стимулирует экспрессию генов *lyz* и *trpx*, участвующих во врожденной иммунной защите, что усиливает защиту от заболеваний. Эта ранняя стимуляция врожденной иммунной системы может также улучшить защиту старых рыб. На основании полученных результатов, авторы исследования рекомендуют использовать фульвовую кислоту при выращивании молоди рыбы в аквакультуре, т.к. это является естественным способом улучшения общего состояния здоровья и может повысить выживаемость на этом критическом этапе жизни [6].

Тем не менее, исследование того, могут ли гуминовые вещества быть подходящей добавкой для снижения стресса у рыб, вызванного инфекцией или лечением, а также возможность применения гуминовых кислот в качестве стимулятора метаболизма рыб все еще является новым и незначительно раскрывается в немногочисленных современных публикациях.

В доступной нам литературе мы нашли единичные статьи, где описан опыт применения фульвовой кислоты в рыбоводстве в качестве биологически активной добавки к корму и воде. Применение гуминового вещества, богатого фульвокислотами, при выращивании молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) значительно увеличило рост рыбы, снизило коэффициент конверсии пищи и реакцию на стрессорное воздействие. При этом усилилась фагоцитарная активность лейкоцитов, а также – общая способность к улавливанию оксирадикалов и активность лизоцима в жабрах рыб. В заключение исследователи сделали вывод, что возможна иммуностимуляция организма рыб фульвокислотой через жабры [4].

Известно, что фульвовая кислота оказывает положительное воздействие на аквакультуру вынона *Paramisgurnus dabryanus* (Sauvage) при добавлении в воду. Исследователи выявили повышенную активность антиоксидантных ферментов у вынона в группе, при ее добавлении в воду, по сравнению с контрольной группой с одновременным увеличением активности кишечных иммunoспецифических ферментов. Добавление фульвовой кислоты в рацион также снижало относительную численность условно-патогенных бактерий в анализируемых образцах [16]. Добавление фульвокислоты в рацион *Nile tilapia*, содержащий тяжелые металлы, значительно улучшило показатели роста рыб, усвоение белка и выживаемость. Влияние фульвовой кислоты на снижение накопления тяжелых металлов в мясе рыбы может быть связано с ее способностью связываться с тяжелыми металлами, образуя комплексное соединение посредством окислительно-восстановительной реакции. После чего тяжелые металлы теряют свою реакционную способность. Комплекс тяжелых металлов и фульвокислоты не переваривается рыбой и может выводиться с фекалиями. Исследователи отметили, что увеличение выводимого с фекалиями свинца сильно коррелировало с концентрацией фульвокислоты в рационе. Однако иная тенденция наблюдалась у Cd. Концентрация вы-

веденного Cd показала слабую корреляцию с уровнем фульвокислоты в рационе [31]. Однако системная оценка безопасности фульвовой кислоты для организма животных остается неизученной даже для млекопитающих [32].

Добавление фульвовой кислоты к аквакультуре азиатского сибаса (*Lates Calcarifer*) в концентрации 10-15 г/кг значительно повышало выживаемость рыб при заражении *Vibrio harveyi*, что было связано с увеличением активности сывороточного лизоцима, глутатионпероксидазы печени и альтернативной активности комплемента. Добавление в рацион рыб 5 г/кг фульвокислоты способствовало большей прибавке в весе в течение эксперимента и получению в конце эксперимента особей с более высоким весом по сравнению с контролем [33].

В настоящее время наука рассматривает фульвовую кислоту как экспериментальное средство для изучения ее биологической активности и фармакологических свойств, с целью разработки лекарственных препаратов на ее основе. Фульвовая кислота способна проявлять антибактериальные и противогрибковые свойства. Ионы фульвовой кислоты активно влияют на способности клеток млекопитающих к здоровому росту, регенерации и делению [34].

В исследованиях *in vitro* фульвовая кислота заметно стимулировала пролиферативную и метаболическую активность культуры клеток RAW 264.7 (трансформированные макрофаги мыши), без каких-либо цитотоксических эффектов [35]. Также было выявлено увеличение жизнеспособности и отсутствие цитотоксичности при сокультивировании гуминовых кислот и кератиноцитов человека *in vitro*. Кроме того, в экспериментальной работе показано снижение клеточной экспрессии воспалительных цитокинов при воздействии воспалительного агента на клетки кожи в присутствии гуминовых кислот [36]. Согласно опубликованным данным, гуминовая кислота в исследованиях *in vitro* значительно увеличивает миграцию, адгезию и инвазию клеток A549 [37]. А также она проявляет антиоксидантную активность и не вызывает повреждения хромосом у культуры клеток легкого китайского хомячка V79 при воздействии *in vitro* [38].

При этом сообщается о негативных или противоречивых эффектах гуминовых кислот, включая окислительное повреждение ДНК и генотоксичность в лимфоцитах человека [39], окислительный стресс и снижение количества потомства у *Daphnia magna* [40].

Известно, что гуминовые кислоты вызывали снижение уровня циркулирующих компонентов комплемента, факторов свертывания крови и их регуляторов у японских *Medaka ogyzias latipes*, подвергшихся воздействию гуминовой кислоты. Отрицательный эффект гуминовых кислот проявлялся в подавлении врожденного иммунитета и уменьшении белков коагуляции. В то же время *in vivo* гуминовые кислоты, растворенные в питьевой воде, инициируют окислительное повреждение фибробластов человека и приводят к снижению их потенциала роста и выживаемости. Это является этиологической составляющей в патогенезе влажной гангрены конечностей у людей (*Blackfoot disease*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя не все приведенные результаты исследований могут быть непосредственно отнесены к рыбе, эти данные показывают, что гуминовые вещества играют огромную роль в биологическом воздействии на живые организмы. В связи с чем имеется необходимость комплексного изучения влияния основных компонентов гуминовых веществ – гуминовой и фульвовой кислот на организм рыб *in vivo*, а также *in vitro* с целью изучения механизмов биологических эффектов на клеточном уровне.

На данный момент времени свойства гуминовых веществ изучены недостаточно, так как не существует общепринятой методологии их исследования и оценки качества из-за сложности химического строения, полиморфизма состава и связанных с этим определенных трудностей при идентификации отдельных фракций. Однако, исходя из вышеизложенного и принимая во внимание то, что особую значимость приобретают «зеленые технологии», исследование гуминовых веществ – фульвовой и гуминовой кислот, представляет собой перспективное направление современной медицины, биологии, ветеринарии и рыбоводства. Это, возможно, позволит на основе экологически чистых органических веществ создать такой класс кормовых добавок для животноводства, как биогенные стимуляторы сочетанного действия.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета [ПРИОРИТЕТ-2030].

Funding. The work was supported by the Strategic Academic Leadership Program of Kazan Federal University [PRIORITY-2030].

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: **Закирова Е.Ю.** – идея и подготовка статьи, корректировка текста; **Аймалетдинов А.М.** – систематизация данных, корректировка текста; **Мансурова М.Н.** – подготовка статьи, корректировка текста; **Маланьева А.Г.** – анализ данных, корректировка текста.

The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: **Zakirova E.Yu.** – idea and preparation of the article, text correction; **Aymaletdinov A.M.** – systematization of data, text correction; **Mansurova M.N.** – preparation of the article, text correction; **Malan'eva A.G.** – data analysis, text correction.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / LITERATURE AND SOURCES

1. Coban N., Sahin T., Yilmaz S. [et al.] (2020). The Role of Humic Acids in Aquaculture: A Review // *Int J Zoo Animal Biol.* №3 (6). P. 000258.
2. Рыжкова С.М., Кручинина В.М. Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // Вестник ВГУИТ. 2020. №2. С. 84.
2. Ryzhkova S.M., Kruchinina V.M. (2020). Trends in the consumption of fish and its processed products in Russia // Bulletin of VGUIT. №2. P. 84.3. Vijayaram S., Sun Y.Z., Zuorro A. [et al]. (2022). Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review/ S. Vijayaram, // *Fish Shellfish Immunol.* V. 130. Pp. 294-308. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.011>
4. Lieke T., Steinberg E.W., Bittmann S. [et al.]. (2021). Fulvic acid accelerates hatching and stimulates antioxidative protection and the innate immune response in zebrafish larvae // *Science of The Total Environment.* V. 796. P. 148780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148780>
5. Dawood Mahmoud A.O., Koshio S., Esteban M.A. (2018). Beneficial Roles of Feed Additives as Immunostimulants in Aquaculture: A Review // *Reviews in Aquaculture* 10. V.4. Pp. 950-974. <https://doi.org/10.1111/raq.12209>
6. Lieke T. Steinberg C.E.W., Pan B. [et al.] (2021). Phenol-Rich Fulvic Acid as a Water Additive Enhances Growth, Reduces Stress, and Stimulates the Immune System of Fish in Aquaculture // *Sci Rep* 11. V. 1. P. 174. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80449-0>
7. Jahangiri L., Esteban M.Á. (2018). Administration of probiotics in the water in finfish aquaculture systems: a review // *Fishes.* V. 3. №. 3. P. 33
8. Савченко И.А. Корнеева И.Н., Лукша Е.А. [и др.] Биологическая активность гуминовых веществ: перспективы и проблемы их применения в медицине (обзор) // Журнал МедиАль. 2019. №1. С. 23. <http://dx.doi.org/10.21145/2225-0026-2019-1-54-60>
8. Savchenko I.A. Korneeva I.N., Luksha E.A. [et al.] (2019). Biological activity of humic substances: prospects and problems of their application in medicine (review) // *Medial Journal.* No. 1. p. 23. <http://dx.doi.org/10.21145/2225-0026-2019-1-54-60>
9. Броварова О.В., Броварова Д.А. Гуминовые вещества торфа. Свойства и биологическая активность. // Химия растительного сырья. 2023. № 2. С. 301-309.
9. Brovarova O.V., Brovarova D.A. (2023). Humic substances of peat. Properties and biological activity. // *Chemistry of vegetable raw materials.* No. 2. pp. 301-309.
10. Kwame A., Thilakarathna M.S., Gorim L.Y. (2022). Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health // *Frontiers in Agronomy.* 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
11. Holland A., Duivenvoorden L.J., Kinnear S.H. (2014). Humic Substances of Varying Types Increase Survivorship of the Freshwater Shrimp *Caridina Sp.* D to Acid Mine Drainage // *Ecotoxicology* 23. V. 5. Pp. 939-945. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1237-3>
12. Van Rensburg, C.E.J. (2015). The Antiinflammatory Properties of Humic Substances: A Mini Review. *Phytother* // *Res.* Vol. 29. № 6. Pp. 791-795. <https://doi.org/10.1002/ptr.5319>
13. Vaskova J., Velika B., Pilatova M. [et al.] (2011). Effects of Humic Acids in Vitro / J. Vaskova, // *In Vitro Cell Dev Biol Anim* 47. V. 5-6. Pp. 376-82. <https://doi.org/10.1007/s11626-011-9405-8>
14. Ветрова О.В., Бурметьева М.С., Гавриленко М.А. Закрепление гуминовых кислот на поверхности силикагеля через слой полиметиленгуанидина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. Т. 322(3). С. 18-21.
14. Vetrova O.V., Burmetyeva M.S., Gavrilenco M.A. (2013). Fixation of humic acids on the silica gel surface through a polymethylene guanidine layer// Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. T. 322(3). pp. 18-21.
15. Orsetti S., J.L. Marco-Brown, E.M. Andrade [et al.] (2013). Pb [II] binding to humic substances: an equilibrium and spectroscopic study // *Environmental science & technology.* V. 47(15). Pp. 8325-8333. <https://doi.org/10.1021/es400999q>
16. Gao Y., He J., He Z. [et al.] (2017). Effects of Fulvic Acid on Growth Performance and Intestinal Health of Juvenile Loach *Paramisgurnus Dabryanus* (Sauvage) // *Fish Shellfish Immunol.* V. 62. Pp. 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.01.008>
17. Thomas M., K. Schreckenbach, K. Knopf [et al.] (2004). Humic Substances Affect Physiological Condition and Sex Ratio of Swordtail (*Xiphophorus Helleri* Heckel) // *Aquatic Sciences.* V. 66 (2). Pp. 239-245. <https://doi.org/10.1007/s00027-004-0706-9>
18. Arif M., M. Alagawany, M.E. Abd El-Hack [et al.] (2019). Humic Acid as a Feed Additive in Poultry Diets: A Review // *Iran J Vet Res.* No. 3. Pp. 167-172
19. Bujňák L., A.H. Šamudovská, D. Mudroňová [et al.] (2023). The Effect of Dietary Humic

- Substances on Cellular Immunity and Blood Characteristics in Piglets // Agriculture. V. 13(3). P. 636. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030636>
20. Louvado A., F.R. Daniel, C. Luis [et al.] (2021). Humic substances modulate fish bacterial communities in a marine recirculating aquaculture system // Aquaculture. V. 544. P. 737121. ISSN 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737121>
21. Meinelt T., A. Paul, T.M. Phan, E. Zwirnmann [et al.] (2007). Reduction in Vegetative Growth of the Water Mold *Saprolegnia Parasitica* [Coker] by Humic Substance of Different Qualities // Aquat Toxicol. No.2. Pp. 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.03.013>
22. Yamin G., R. Falk, R.R. Avtalion [et al.] (2017). The Protective Effect of Humic-Rich Substances on Atypical Aeromonas *Salmonicida* Subsp. *Salmonicida* Infection in Common Carp (*Cyprinus Carpio* L.) // J Fish Dis. No. 12. Pp. 1783-1790. <https://doi.org/10.1111/jfd.12645>
23. Kodama H., Denso, T. Nakagawa Protection against Atypical Aeromonas *Salmonicida* Infection in Carp (*Cyprinus Carpio* L.) by Oral Administration of Humus Extract // J Vet Med Sci. 2007. 69. No. 4. Pp. 405-408. <https://doi.org/10.1292/jvms.69.405>
24. Gilad Y., D. Zilberg, G. Levy [et al.] (2017). The Protective Effect of Humic-Rich Substances from Monogenean Parasites Infecting the Guppy (*Poecilia Reticulata*) // Aquaculture. 479. P. 487-489. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.022>
25. Rasidi R., D. Jusadi, M. Setiawat [et al.] (2021). Dietary Supplementation of Humic Acid in the Feed of Juvenile Asian Seabass, *Lates Calcarifer* to Counteract Possible Negative Effects of Cadmium Accumulation on Growth and Fish Well-Being When Green Mussel (*Perna Viridis*) Is Used as a Feed Ingredient // Aquaculture Research. V.52(6). Pp.2550-2568. <https://doi.org/10.1111/are.15104>
26. Yilmaz S., Ergun E.S. Çelik M. Yigit (2018). Effects of dietary humic acid on growth performance, haemato-immunological and physiological responses and resistance of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* to *Yersinia ruckeri* // Aquac Res. 49. P. 3338-3349. <https://doi.org/10.1111/are.13798>
27. Deng J., B. Lin, X. Zhang [et al.] (2020). Effects of dietary sodium humate on growth, antioxidant capacity, non-specific immune response, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in genetic improvement of farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) // Aquaculture. V. 520. Pp. 734-788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734788>
28. Vadstein O., Ø. Bergh, F.J. Gatesoupe [et al.] (2013). Microbiology and immunology of fish larvae // Rev. Aquac. V. 5. Pp. 1-25. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01082.x>
29. Chiasson M. M. Kirk, D. Huyben. Microbial control during the incubation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs exposed to humic acid // Front. Aquac. 2023. V. 2. P. 1088072. <https://doi.org/10.3389/fauc.2023.1088072>
30. Ondrašovičová S., F. Zigo, J. Gogol'a [et al.] (2023). The Effects of Humic Acids on the Early Developmental Stages of African Cichlids during Artificial Breeding // Life (Basel). T. 13. V. 5. P. 1071. <https://doi.org/10.3390/life13051071>
31. Srivastava M., S. Rathee, V. Patel [et al.] A review of various materials for additive manufacturing: Recent trends and processing issues // Journal of Materials Research and Technology. 2022. V.21. P. 2612-2641. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.015>
32. Dai C.X. Xiao, Y. Yuan [et al.] (2020). A Comprehensive Toxicological Assessment of Fulvic Acid // Evid Based Complement Alternat Med. 8899244. <https://doi.org/10.1155/2020/8899244>
33. Zoheiri F., S.H. Hoseinifar, M.T. Mozanzadeh [et al.] (2023). Dietary fulvic acid increased growth, stress tolerance and disease resistance against *Vibrio harveyi* in Asian seabass (*Lates calcarifer*) juvenile // Aquaculture Reports. V. 32. 101738. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101738>
34. Benderskii N.S., Kudelina O.M., Gantsgorn E.V., Safronenko A.V. (2020). Fulvic Acid: an Active Food Additive or Medication? // Kuban Scientific Medical Bulletin. V. 27(3). Pp. 78-91. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2020-27-3-78-91>
35. Rgpt J., Dilshara M.G., Kang C.H. [et al.] (2016). Fulvic Acid Promotes Extracellular Anti-Cancer Mediators from Raw 264.7 Cells, Causing to Cancer Cell Death in Vitro / J. Rgpt, // Int Immunopharmacol. V. 36. Pp. 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2016.04.029>
36. Verrillo M., Parisi M., Savy D. [et al.] (2022). Antiflammatory Activity and Potential Dermatological Applications of Characterized Humic Acids from a Lignite and a Green Compost // Sci Rep 12. V. 1. P. 2152.
37. Lee W.J. Lu F.J., Wang S.F. [et al.] (2009). In Vitro Enhancement Effect of Humic Acid on the Progression of Lung Cancer Cells // Chem Biol Interact 181. V. 3. Pp. 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2009.08.009>
38. Murbach T.S., Glavits R., Endres J.R. [et al.] (2020). A Toxicological Evaluation of a Fulvic and Humic Acids Preparation // Toxicol Rep. V. 7. Pp. 1242-1254. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.030>
39. Hsue Y.C., Chen S.C., Chen Y.L. [et al.] (2008). Humic acid induced genotoxicity in human peripheral blood lymphocytes using comet and sister chromatid exchange assay / Y.C. Hsue, // Journal of Hazardous Materials. V. 153. P. 784-791. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.024>
40. Saebelfeld M., Minguet L., Griebel J. [et al.] (2017). Humic dissolved organic carbon drives oxidative stress and severe fitness impairments in Daphnia / M. Saebelfeld, // Aquatic Toxicology. V. 182. Pp. 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.11.006>

Материал поступил в редакцию/ Received 13.05.2025
Принят к публикации / Accepted for publication 04.07.2025