



Оценка влияния активированного угля на организм радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)

Научная статья
УДК 639.3.043.2

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-1-56-63>
EDN: RILEQL

Мирошникова Елена Петровна – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
E-mail: elenaakva@rambler.ru

Иньшин Олег Владимирович – аспирант, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия
E-mail: oleg0_0_0@bk.ru

Мингазова Марина Сергеевна – кандидат биологических наук; старший преподаватель кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия;
E-mail: ms.mingazova@gmail.com

Адреса:

1. Оренбургский государственный университет – Россия, Оренбург, 460018, Оренбургская область, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13
2. Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук – Россия, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, д. 29

Аннотация. Цель данного исследования – оценка эффективности использования активированного угля в дозировках 1, 2 и 3 г/кг корма в кормлении годовиков радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). Исследование выполнено в условиях садкового хозяйства. Рыбы были разделены на 4 группы: контроль и 3 опытные. Результаты показали, что 2 г/кг корма активированного угля оказалось лучшей дозировкой для повышения живой массы на 19,6% ($p \leq 0,01$) и энергетической ценности продукции на 24,8%, при этом кормовой коэффициент снижался на 12,5%. Было отмечено значительное снижение ряда токсических элементов – Cd, As, Sr и Al, при повышении Pb. Применение активированного угля в дозировках 1 и 3 г/кг корма не приводило к изменениям в рыбоводно-биологических показателях, за исключением повышения энергетической ценности (на 22,6-23,5%), при этом кормовой коэффициент возрастал до 15,8%. Однако во всех опытных группах установлено заметное снижение ряда аминокислот в мышечной ткани рыб, в том числе незаменимых – лейцин + изолейцин (до 20,8%) и валин (до 22,1%). В 1 группе также установлено снижение лизина на 18,1% по сравнению с контрольными значениями. При этом повышалось содержание жира до 88,2% ($p \leq 0,05$). Выживаемость во всех опытных группах составила 100%. Таким образом, из трех выбранных дозировок активированного угля (1, 2 и 3 г/кг корма), в качестве кормовой добавки в рационе годовиков радужной форели, наилучший результат был получен при использовании дозы 2 г/кг корма.

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, кормление, кормовая добавка, активированный уголь

Для цитирования: Мирошникова Е.П., Иншин О.В., Мингазова М.С. Оценка влияния активированного угля на организм радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) // Рыбное хозяйство. 2026. № 1. С. 56-63. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-1-56-63>

THE STUDY AIMED TO ASSESS THE EFFECTS OF ACTIVATED CARBON ON THE HEALTH OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

Elena P. Miroshnikova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Oleg V. Inshin – Postgraduate Student, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Marina S. Mingazova – Candidate of Biological Sciences; Senior Lecturer at the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Addresses:

1. **Orenburg State University** – Russia, Orenburg 460018, Orenburg region, Orenburg, ave. Pobedy, 13
2. **Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences** – Russia, 460000, Orenburg, 9 January str., 29

Annotation. The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of using activated charcoal at dosages of 1, 2, and 3 g/kg of feed in the feeding of one-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The study was conducted in a cage farm. The fish were divided into four groups: a control group and three experimental groups. The results showed that 2 g/kg of activated charcoal in the feed was the best dosage for increasing live weight by 19.6% ($p \leq 0.01$) and the energy value of the product by 24.8%, while the feed conversion ratio decreased by 12.5%. There was a significant decrease in several toxic elements, such as Cd, As, Sr, and Al, while Pb increased. The use of activated charcoal at dosages of 1 and 3 g/kg of feed did not lead to changes in fish farming and biological indicators, except for an increase in energy value (by 22.6–23.5 %), while the feed coefficient increased to 15.8 %. However, in all experimental groups, there was a noticeable decrease in a number of amino acids in the fish muscle tissue, including the essential amino acids leucine and isoleucine.

Keywords: aquaculture, rainbow trout, feeding, feed additive, activated carbon

For citation: Miroshnikova E.P., Inshin O.V., Mingazova M.S. 2026. Assessment of the effect of activated carbon on the body of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fisheries. No. 1. Pp. 56-63. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-1-56-63>

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Рыба – ценный продукт питания населения, содержит белки, витамины и минералы, и обеспечивает до 20% среднего потребления животного белка в мире.

Аквакультура в настоящее время является главным поставщиком продукции гидробионтов. На протяжении последних лет отрасль стремительно развивается и увеличивает объемы производства. Однако стоит ряд проблем, среди которых выделяют качественное корм-

ление и снижение риска развития различных заболеваний. На протяжении длительного периода для улучшения роста, развития и иммунитета рыб используют кормовые препараты, которые показали положительное влияние на организм гидробионтов. Но вопрос изучения тех или иных добавок является открытым, в связи с ограниченными исследованиями на разных видах рыб [1; 2].

Активированный уголь – мелкий черный кристаллический порошок, получаемый путем нагревания до высоких температур древесного угля. Также его можно получить из скорлупы кокосовых орехов, стеблей кукурузы и винограда, стеблей и коры миндаля. Уголь способен связывать токсичные вещества в процессе пищеварения и улучшать всасывание питательных компонентов в кишечнике. Он имеет большой потенциал использования в рационах гидробионтов, в связи с низкой себестоимостью и большой доступностью на рынке, при хороших положительных качествах [3]. Механизм действия активированного угля в процессе пищеварения у рыб не до конца изучен, при этом его явное влияние на организм гидробионтов неоспорим. Он оказывает воздействие на усвоение питательных веществ у рыб, в том числе – влияет на работу кишечника. Адсорбционные свойства активированного угля позволяют выводить вредные вещества и токсины, улучшая пищеварение и метаболизм, что стимулирует рост и усвояемость корма [4].

Исследования влияния активированного угля на организм гидробионтов показали, что его оптимальное содержание может улучшить состояние здоровья, повысить иммунитет и показатели роста, а также улучшить антиоксидантную способность и снизить биоаккумуляцию тяжелых металлов в тканях [5]. Например, использование в питании белуги (*Huso huso*) активированного угля в дозе от 5 до 20 г/кг рациона в течение 60 дней приводило к биохимическим изменениям крови и снижению аккумуляции кадмия, меди и свинца [6]. Похожие результаты показали эксперименты на нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*), которой задавали 1-2% активированного угля на протяжении 8 недель, а также – на золотистом спаре (*Sparus aurata*) [7].



Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) – ценный вид рыбы, который широко выращивают во всем мире, в том числе в России. За счет высокого содержания аминокислот, макро- и микроэлементов (Ca, P, K, Zn, др.), витаминов, полиненасыщенных жирных кислот и других полезных свойств, радужная форель является популярной рыбой среди потребителей. Радужную форель выращивают в основном в садках в условиях плотной посадки, что может приводить к повышению риска развития инфекционных заболеваний, снижать темпы роста и повышать смертность. Поиск новых кормовых препаратов, которые можно использовать в кормлении радужной форели, может улучшить качество выращивания и улучшения жизнестойкой рыбы [8; 9].

Цель исследований – оценить эффективность использования активированного угля в дозировках 1, 2 и 3 г/кг корма в кормлении годовиков радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе Оренбургского государственного университета, Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН и садкового хозяйства ООО «Ирикла-рыба». Для проведения эксперимента были использованы годовики радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), которые содержались в условиях Ириклинского водохранилища (Оренбургская область) в прямоугольных садках объемом 18 м³ с ячейей 10 мм.

Рыбы (330 ± 4 г) были разделены на 4 группы по n = 100: контроль и 3 опытные. Эксперимент длился 100 сут., из которых учетный период составил 93 сут., первые 7 сут. – подготовительный. Форели контрольной группы задавали основной рацион (ОР), представленный полнорационным экстрадированным комбикормом «Форель 42/24» (производитель ООО «Лимкорм», г. Белгород) и предназначенным для выращивания товарной форели (содержание протеина – 42,2%, жира – 24,1%). Опытным группам в учетный период дополнительно к ОР наносили методом напыления активированный уголь в разных дозировках: 1 группа – 1 г/кг корма, 2 группа – 2 г/кг корма, 3 группа – 3 г/кг корма. Кормление осуществляли вручную в светлое время суток 5 раз в день. Норма кормления составила 1,6% от массы рыбы. Пересчет дозировки проводили еженедельно.

Рост рыбы оценивали по показателям живой массы в конце эксперимента: абсолютному, относительному и среднесуточному приростам. Эффективность кормления анализировали по коэффициенту кормления. Пище-

вую ценность рыб – по энергетической ценности [10]. В последний день эксперимента была отобрана мышечная ткань при помощи стерильных инструментов. Анализ химического аминокислотного состава мышечной ткани рыб, а также определение концентрации токсических элементов проведен в лаборатории Испытательного центра Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (г. Оренбург).

Опытные группы сравнивались с контрольной группой с помощью пакета программ «Microsoft Office» («Microsoft», США) и программы «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективным методом профилактики различных заболеваний у рыб является применение кормовых препаратов, которые стимулируют усиление иммунного ответа [11]. В данном исследовании был использован активированный уголь, в качестве кормовой добавки в рационе радужной форели в различных дозировках – 1, 2 и 3 г/кг корма. Согласно полученным данным, выявлено, что уголь оказывал различное влияние на рыбо-водно-биологические показатели выращиваемой форели (табл. 1).

Выявлено, что активированный уголь во 2 группе (2 г/кг корма) оказывал положительное действие на ростовые показатели, в то время как в других опытных группах были отмечены отрицательные результаты. Так, во 2 группе живая масса годовиков радужной форели отличалась от контрольной группы на 19,6% (p ≤ 0,01), в 1 и 3 группе масса снижалась до 7,5% при недостоверных различиях с контролем. При этом во 2 группе повышались показатели абсолютного (на 27,2%), относительного (на 112, %) и среднесуточного (на 27,2%) приростов, в то же время снижался кормовой коэффициент на 12,5%, по сравнению с контрольными значениями.

Повышение или снижение дозы активированного угля приводило к увеличению кормового коэффициента. При этом выживаемость в опытных группах была 100%. Отдельно стоит указать, что, независимо от дозы препарата, у рыб опытных групп увеличивалась энергетическая ценность на 22,6-24,8%. Полученные в ходе исследования результаты согласуются с данными других ученых [12].

Анализ химического состава мышечной ткани форели (рис. 1) показал, что включение активированного угля в рацион положительно отразилось на содержании липидов, уровень которых возрастал во всех группах по сравнению с контролем. Так, в 1 группе содержание

Таблица 1. Рыбоводно-биологические показатели радужной форели / **Table 1.** Fish-breeding and biological indicators of rainbow trout

Показатель	Контроль	1 группа	2 группа	3 группа
Масса начальная, г	330±3,80	330±3,90	330±3,74	330±3,86
Масса конечная, г	1171±10,2	1083±11,3	1400±11,2**	1118±11,4
Абсолютный прирост, г	841	753	1070	788
Относительный прирост, %	254,0	228,2	366,7	238,8
Среднесуточный прирост, г/сут	8,41	7,53	10,7	7,88
Кормовой коэффициент	1,20	1,35	1,05	1,39
Энергетическая ценность, кДж	440,1	539,4	549,2	543,5
Выживаемость, %	90	100	100	100
Длительность эксперимента, сут	100			

Примечание: Различия с контролем при ** - $p \leq 0,01$

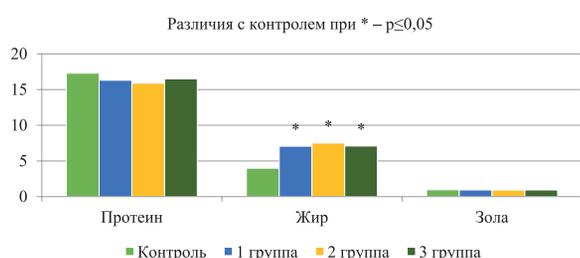


Рисунок 1. Химический состав мышечной ткани радужной форели в опытных группах относительно контроля, %

Figure 1. Chemical composition of rainbow trout muscle tissue in the experimental groups relative to the control, %

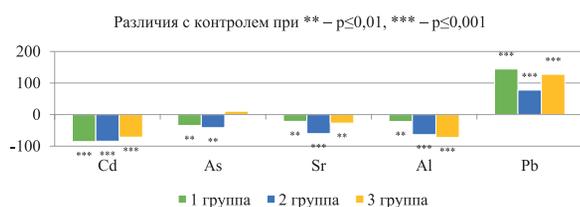


Рисунок 2. Концентрация токсических элементов в мышечной ткани радужной форели в опытных группах относительно контроля, %

Figure 2. The concentration of toxic elements in the muscle tissue of rainbow trout in the experimental groups relative to the control, %

жира повышалось на 77,2% ($p \leq 0,05$), во 2 группе – на 88,2% ($p \leq 0,05$) и в 3 группе – на 77,7% ($p \leq 0,05$). При этом во всех опытных группах незначительно снижались содержание протеина и золы. Ранее сообщалось [4], что при-

менение активированного угля в кормлении европейского лаврака (*Dicentrarchus labrax*) стимулировало изменение в химическом составе тела, в том числе значительно повышало содержание жиров в мышечной ткани рыб. Такой эффект возможен за счет положительного действия угля на пищеварение и усвоение питательных веществ.

Накопление в организме рыб токсических элементов зависит от разных факторов, в том числе – от окружающей среды, кормления, вида рыб. Интоксикация тяжелыми металлами в организме может по-разному проявлять себя, например, оказывать негативное влияние на все внутренние структуры. Использование кормовых препаратов может изменять концентрацию ряда макро- и микроэлементов в организме гидробионтов [13]. Включение активированного угля в кормление радужной форели стимулировало снижение ряда токсических элементов в мышечной ткани (рис. 2).

За счет адсорбирующих свойств угля во всех группах снижалась концентрация Cd, Sr и Al. Так, содержание Cd уменьшалось на 71,4-85,7% ($p \leq 0,001$), относительно контроля. Уровень Sr падал в 1 группе на 21,5% ($p \leq 0,01$), во 2 группе – на 60,4% ($p \leq 0,001$) и в 3 группе – на 27,1% ($p \leq 0,01$), по отношению к контролю. Отмечена зависимость между дозой препарата и концентрацией Al – с повышением дозировки уровень алюминия в опытных группах снижался с 21,6% ($p \leq 0,01$) до 72,4% ($p \leq 0,001$). При использовании дозы 3 г/кг корма незначительно повышалось содержание As (на 10,8%, по отношению к контролю), однако при использовании угля в дозировках 1 и 2 г/кг корма концентрация As была ниже контроля на 34,6% ($p \leq 0,01$) и 41,6% ($p \leq 0,01$), соответственно.

Cd, As и Al являются опасными тяжелыми металлами для живых организмов, превышение допустимых значений может приводить к интоксикации и снижению физиологического функционирования организма. Кроме того, рыбы в наибольшей степени подвержены воздействию тяжелых металлов, поскольку в водной экосистеме занимают вершину пищевой цепи [14].

Во всех опытных группах увеличивался уровень Pb. Так, в 1 и 3 группах было выявлено наиболее высокое повышение – на 144,4% ($p \leq 0,001$) и 127,8% ($p \leq 0,001$), соответственно. При этом во 2 группе концентрация Pb повышалась на 77,8% ($p \leq 0,001$), по отношению к контролю. Свинец может накапливаться в тканях и органах гидробионтов и долгое время аккумулироваться в воде и донных отложениях. Его увеличение в тканях рыб может приводить к окислительному стрессу и негативно отражаться на развитии [15]. Однако отрицательная динамика Pb в мышечной ткани может свидетельствовать об его высвобождении из костной ткани под действием кормовых препаратов [16]. Стоит указать, что концентрация свинца в мышечной ткани форели не превышала пороговых значений (0,5 мг/кг в пересчете на сухой вес) [17].

В ходе исследования отмечены изменения в аминокислотном составе (табл. 2). Установлено, что активированный уголь во всех дозировках приводил к снижению ряда аминокислот в мышечных тканях. Во всех опытных группах, по отношению к контролю,



снижалось содержание незаменимых аминокислот – лейцина + изолейцина и валина. Так, лейцин + изолейцин в 1, 2 и 3 группах падал на 16,5% ($p \leq 0,05$), 19,7% ($p \leq 0,05$) и 20,8% ($p \leq 0,05$), а валин – на 15,4% ($p \leq 0,05$), 21,9% ($p \leq 0,05$) и 22,1% ($p \leq 0,05$), соответственно. Причем, отмечена закономерность: с увеличением дозировки активированного угля концентрация аминокислот в мышечной ткани форели пропорционально снижалась. Кроме того, среди незаменимых аминокислот в 1 группе уменьшалась концентрация лизина – на 18,1% ($p \leq 0,05$), относительно контроля.

Таблица 2. Аминокислотный состав мышечной ткани радужной форели / **Table 2.** Amino acid composition of rainbow trout muscle tissue

Аминокислота	Контроль	1 группа	2 группа	3 группа
Лизин	8,19±0,50	6,71±1,21*	6,97±1,33	6,80±0,40
Фенилаланин	2,54±0,26	2,36±0,40	2,44±0,38	2,44±0,12
Лейцин + изолейцин	9,57±0,70	7,99±1,10*	7,68±1,23*	7,58±0,51**
Метионин	2,12±0,18	1,85±0,22	1,90±0,23	1,98±0,08
Валин	4,02±0,20	3,40±0,56*	3,14±0,66*	3,13±0,24*
Треонин	3,12±0,22	2,82±0,38	2,92±0,67	3,00±0,17
Аргинин	3,08±0,30	3,21±0,89	3,13±0,62	2,56±0,19
Гистидин	1,98±0,12	1,96±0,71	1,63±0,16**	1,59±0,12**
Пролин	2,68±0,25	2,12±0,21*	2,39±0,33	2,27±0,11*
Тирозин	2,91±0,50	2,61±0,28	2,71±0,24	3,03±0,03
Серин	2,58±0,21	2,36±0,46	2,41±0,86	3,00±0,17
Аланин	4,73±0,37	4,24±0,60	4,14±0,75	4,38±0,26
Глицин	3,9±0,38	3,26±0,44	3,67±0,46	3,22±0,24

Примечание: Различия с контролем при * - $p \leq 0,05$, ** - $p \leq 0,01$

Среди условно-незаменимых аминокислот отмечено отрицательное изменение содержания гистидина при использовании активированного угля в дозах 2 и 3 г/кг корма – на 17,7% ($p \leq 0,05$) и 19,7% ($p \leq 0,05$), соответственно. У заменимых аминокислот были получены достоверные различия только по уровню пролина в 1 и 3 группах, содержание которого относительно контроля снижалось на 20,9% ($p \leq 0,05$) и 15,3% ($p \leq 0,05$), соответственно.

Аминокислоты – строительный материал для белков, они играют важную роль в росте и развитии рыб, а также – поддерживают работу иммунной системы. Включение кормовых препаратов обычно стимулирует увеличение содержания аминокислот в организме [18], однако в нашем исследовании отмечен обратный эффект. Уменьшение содержания ряда аминокислот в мышечной ткани форели возможно было связано с адсорбционной функцией активированного угля [19]. С другой стороны, снижение аминокислот может быть ответом на сокращение стрессовых факторов при выращивании рыб [20]. Кроме того, наши данные согласуются с ранее опубликованными исследованиями [21], в которых отмечалось снижение аминокислот в тканях радужной форели под действием кормовой добавки, на взаимосвязь между изменением уровня аминокислот и содержанием протеина в мышцах.

Таким образом, выявлено, что использование в рационе радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) активированного угля в дозировках от 1 до 3 г/кг корма оказывало различное действие на организм. В целом, оптимальной дозировкой было 2 г/кг корма. Ранее в исследованиях [22] указывалось, что добавление 2% активированного угля положительно отразилось на росте морфологии кишечника нильской тилпии. Похожие данные были получены при использовании биологического угля в дозе 2 мг/кг корма в питании индийского карпа (*Catla catla*), за счет повышения усвояемости питательных веществ [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным результатам исследования по использованию активированного угля в дозах 1, 2 и 3 г/кг корма в кормлении годовиков радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), установлено, что кормовой препарат способствовал различному действию на организм рыб. Наилучший результат был получен во 2 группе при использовании активированного угля в дозе 2 г/кг корма. Данная дозировка способствовала повышению ростовых показателей, энергетической ценности и сни-

жению кормового коэффициента. Кроме того, было выявлено значительное сокращение концентрации токсических металлов в мышечной ткани рыб (Cd, As, Sr и Al), при накоплении Pb. Однако во всех опытных группах снижалось содержание аминокислот в мышцах. Изучение различных дозировок активированного угля является важным компонентом современного кормопроизводства, но необходимо тщательно исследовать его влияние на организм.

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

The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-76-10054.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад авторов в работу: Е.П. Мирошникова – идея статьи, корректировка текста, руководство подготовкой; О.В. Иншин – сбор и анализ данных, описание результатов анализов; М.С. Мингазова – подготовка обзора литературы, подготовка статьи и ее окончательная проверка.

The authors advertise the rejection of the conflict of interests. The tab in the authors' work: Contribution of the authors to the work: E.P. Miroshnikova – article idea, text correction, and preparation management; O.V. Inshin – data collection and analysis, and description of analysis results; M.S. Mingazova – literature review preparation, article preparation, and final review.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ/ LITERATURE AND SOURCES

1. Hussein E.E., El Basuini M.F., Ashry A.M., Habiba M.M., Teiba I.I., El-Rayes T.K., Khattabb A.A.A., Shahin S.A., El-Ratel I.T., Badr M.R., Dawood M.A.O. Effect of dietary sage (*Salvia officinalis* L.) on the growth performance, feed efficacy, blood indices, non-specific immunity, and intestinal microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Reports*. 2023. V. 28. P. 101460.
2. El Basuini M.F., Teiba I.I., Shahin S.A., Mourad M.M., Zaki M.A.A., Labib E.M.H., Azra M.N., Sewilam H.S., El-Dakrouy M.F., Dawood M.A.O. Dietary Guduchi (*Tinospora cordifolia*) enhanced the growth performance, antioxidative capacity, immune response and ameliorated stress-related markers induced by hypoxia stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2022. V. 120. Pp. 337-344.
3. Firdus F., Samadi S., Muhammadar A.A., Sarong M.A., Muchlisin Z.A., Sari W., Mellisa S., Satria S., Boihaqi B., Batubara A.S. 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*. *F1000Res*. 2020. V. 9. P. 1274.
4. Elhetawy A.I.G., Abdel-Rahim M.M., Sallam A.E., Shahin S.A., Lotfy A.M.A., El Basuini M.F. 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. V. 10. P. 8860652.
5. Abd El-Hameed S.A.A., Negm S.S., Ismael N.E.M., Naiel M.A.E., Soliman M.M., Shukry M., Abdel-Latif H.M.R. Effects of Activated Charcoal on Growth, Immunity, Oxidative Stress Markers, and Physiological Responses of Nile Tilapia Exposed to Sub-Lethal Imidacloprid Toxicity. *Animals (Basel)*. 2021. V. 11 (5). P. 1357.
 6. Samadai S., Bahrekazemi M. The effect of diets containing different levels of active charcoal on growth performance, body composition, haematological parameters and possibility of heavy metals detoxification in big sturgeon (*Huso huso*). *Aquaculture Research*. 2019. V. 51 (1). Pp. 91-101.
 7. Wong C.F., Saif U., Chow K.L., Wong J.T.F., Chen X.W., Liang Y., Cheng Z., Tsang Y.F., Wong M.H., Man Y.B. Applications of charcoal, activated charcoal, and biochar in aquaculture - A review. *The Science Of The Total Environment*. 2024. V. 929. P. 172574.
 8. Белова М.А., Фоякина В.С., Штер К.В., Никитин И.А., Новиченко О.В., Кутузов М.Н., Вилкова Д.Д. Аквакультура радужной форели: мировые тенденции, российская практика и региональные перспективы развития // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 2. С. 141-150.
 9. Chen L., Wang L., Li Y., Wu X., Long X. Comprehensive metabolomics and transcriptomics analyses investigating the regulatory effects of different sources of dietary astaxanthin on the antioxidant and immune functions of commercial-sized rainbow trout. *Frontiers in Immunology*. 2024. V. 15. P. 1408168.
 10. Khalid M.A., Hussain S.M., Mahboob S., Al-Ghanim M.K.A., Riaz M.N. Biochar as a feed supplement for nutrient digestibility and growth performance of *Catla catla*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022. V. 29 (12). P. 103453.
 11. Пономарева Е.Н., Сорокина М.Н., Григорьев В.А., Мазанко М.С., Рудой Д.В. Сравнительная оценка молодых карпа, выращенной с применением пробиотических препаратов на основе различных штаммов *Bacillus* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 2. С. 83-96.
 11. Ponomareva E.N., Sorokina M.N., Grigoriev V.A., Mazanko M.S., Rudoy D.V. 2025. Comparative evaluation of juvenile carp reared using probiotic preparations based on different *Bacillus* strains. // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. V. 2. Pp. 83-96. (In Russ.)
 12. Michael F.R., Helal A.M. Rule of dietary activated wood charcoal on the growth and biochemical composition of Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) reared under different stocking densities. *Life Sciences Journal*. 2018. V. 15 (4). Pp. 79-86.
 13. Мирошникова Е.П., Мингазова М.С., Аринжанов А.Е., Киякова Ю.В. Элементный статус карпа при введении в рацион биологически активных кормовых добавок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 75-84.
 13. Miroshnikova E.P., Mingazova M.S., Arinzhanov A.E., Kiyakova Yu.V. 2025. The elemental status of carp when biologically active feed additives are introduced into the diet. // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. V. 1. Pp. 75-84. (In Russ.)
 14. Shahjahan M., Taslima K., Rahman M.S., Al-Emran M., Alam S.I., Faggio C. Effects of heavy metals on fish physiology – A review. *Chemosphere*. 2022. V. 300. P. 134519.
 15. Abu-Elala N.M., Khattab M.S., AbuBakr H.O., Helmy S., Younis N.A., Dawood M.A.O., El Basuni M.F. Neem leaf powder (*Azadirachta indica*) mitigates oxidative stress and pathological alterations triggered by lead toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports*. 2023. V. 13. P 9170.
 16. Miroshnikov S., Notova S., Kazakova T., Marshinskaia O. The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021. Vol. 28 (36). Pp. 49852-49863.
 17. Emenike E.C., Iwuozor K.O., Anidiobi S.U. Heavy Metal Pollution in Aquaculture: Sources, Impacts and Mitigation Techniques. *Biological Trace Element Research*. 2022. V. 200 (10). P. 4476-4492.
 18. Zheng J., Zhang W., Dan Z., Zhuang Y., Liu Y., Mai K., Ai Q. Replacement of dietary fish meal with *Clostridium autoethanogenum* meal on growth performance, intestinal amino acids transporters, protein metabolism and hepatic lipid metabolism of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Frontiers in Physiology*. 2022. V. 13. P. 981750.
 19. Huang Z., Aqeya J.J., Zhu C., Tran N.T., Hong Y., Li S., Yao D., Zhang Y. Modulation of Crustacean Innate Immune Response by Amino Acids and Their Metabolites: Inferences From Other Species. *Frontiers in Immunology*. 2020. V. 11. P. 574721.
 20. Wang S., Li X., Zhang M., Jiang H., Wang R., Qian Y., Li M. Ammonia stress disrupts intestinal microbial community and amino acid metabolism of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. V. 227. P. 112932.
 21. Кучихин Ю.А., Никифоров-Никишин А.Л., Климов В.А., Восканян О.С. Влияние соевого белкового концентрата в кормах для радужной форели на органолептические показатели и аминокислотный состав рыбной продукции. // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2025. № 2. С. 63-71.
 21. Kuchikhin Yu.A., Nikiforov-Nikishin A.L., Klimov V.A., Voskanyan O.S. 2025. Influence of soy protein concentrate in rainbow trout feed on organoleptic indicators and amino acid composition of fish products. // *Vestnik Kerchenskogo Gosudarstvennogo Morskogo Tehnologicheskogo Universiteta*. V. 2. Pp. 63-71. (In Russ.)
 22. Pirarat N., Boonananthanasarn S., Krongpong L., Katagiri T., Maita M. Effect of Activated Charcoal-Supplemented Diet on Growth Performance and Intestinal Morphology of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Thai Journal of Veterinary Medicine*. 2014. V. 45 (1). Pp. 113-119.