



БИОХИМИЯ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 577.15:591.434:597.5

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.198

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ХЕЛАТНОГО КОМПЛЕКСА НА АМИЛОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ КИШЕЧНИКА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ

Полистовская П.А. – канд. биол. наук., доц. кафедры биохимии и физиологии; Карпенко Л.Ю. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии; Махнин И.А.* – асп. 1-го года обучения каф. биохимии и физиологии, асс. кафедры биохимии и физиологии; Ажикина О.Ю. – асп. 2-го года обучения каф. биохимии и физиологии.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*ilya.makh@mail.ru

Ключевые слова: амилалитическая активность, хелатные комплексы, кишечник.

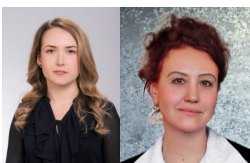
Keywords: amylolytic activity, chelate complexes, intestines.

Благодарность: Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда 23-76-01042, <https://rscf.ru/project/23-76-01042>.

Поступила: 25.04.2024

Принята к публикации: 10.06.2024

Опубликована онлайн: 28.06.2024



РЕФЕРАТ

На сегодняшний день имеется большой объем информации, касаемо действия тяжелых металлов на гидролазы пищеварительного тракта. Установлено, что даже биогенные металлы в высоких концентрациях могут оказывать токсичное действие. Оценка активности пищеварительных гидролаз является актуальной, поскольку изменение их активности, оказывает прямое действие на эффективности ассимиляции пищи. Амилалитические гидролазы способствуют обеспечению организма углеводами (наравне с жирами) - главными источниками энергии для рыб. Снижение поступления углеводов, будет приводить к нарушению обменных процессов и как следствие недоразвитию и гибели рыб. Целью исследования было определение влияния органоминерального хелатного комплекса на амилалитическую активность ферментов кишечника некоторых видов рыб. Исследования проводилось на кафедре биохимии и физиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины» и на базе двух рыбных хозяйств Ленинградской области. Рыбам опытных групп

(n=10) в течение 30-ти дней задавали добавку, данные сравнивали с контролем (n=10). Препарат задавали вместе с кормом один раз в день, в концентрации 0,5 г/кг (массы корма). В качестве объектов исследования использовали сеголеток (0+) 3-х видов пресноводных костистых рыб: *Carassius auratus* (n=20), *Cyprinus carpio* (n=20), *Oncorhynchus mykiss* (n=20). Амилолитическую активность определяли в суммарных гомогенатах слизистой оболочки кишечника рыб. Активность оценивали по приросту гексоз методом Нельсона в модификации Уголева, Иезуитовой. Детекцию проводили на фотометре фотозлектрическом КФК-3-01. На основании полученных исследований, можно сделать заключение, что применение органоминерального хелатного комплекса в исследуемой дозировке (отработанной ранее в условиях определения острой и хронической токсичности для рыб) не оказывает негативного влияния на амилолитическую активность ферментов кишечника. Во всех подопытных группах достоверного снижения амилолитической активности выявлено не было. На основании этого можно рекомендовать применение хелатного комплекса для рыб в условиях индустриальной аквакультуры.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Сбалансированное кормление в индустриальном рыбоводстве должно удовлетворять потребности рыб не только в органических веществах, но и минеральных [1]. В этой связи только сбалансированный рацион может обеспечить нормальный рост и развитие организма [2].

Отсутствие сбалансированного кормления приводит к снижению конверсии корма, нормальному росту и развитию рыб и как следствию снижению эффективности и рентабельности рыбохозяйственных предприятий. Одним из способов повышения эффективности кормления в аквакультуре является внесение кормовых добавок [3-4].

В настоящее время для коррекции минерального кормления в животноводстве используется целый ряд препаратов, содержащих микроэлементы [5]. В ряде исследований доказано, что применение в качестве кормовой добавки органоминеральных хелатных комплексов обеспечивает лучшую ассимиляцию металла, чем при введении его в рацион в неорганической форме, а также препятствует передозировке и возможной интоксикации [6-7]. Это в свою очередь, способствует более высокой продуктивности у животных и снижению расхода корма на единицу продукции. Применение биологически активных добавок должно быть научно обоснованным. Необходимо понимать их кинетику, динамику и побочное действие. В контексте изучения органоминерального хелатного комплекса, содержащего в

своем составе такие тяжелые металлы как железо, марганец, медь, цинк, кобальт, требуется подробное изучение механизма действия. Кроме того, известно, что металлы могут конкурировать друг с другом при всасывании, в результате чего может снижаться доступность некоторых биогенных элементов [8].

На сегодняшний день имеется большой объем информации, касаемо действия тяжелых металлов на гидролазы пищеварительного тракта [9-10]. Установлено, что даже биогенные металлы в высоких концентрациях могут оказывать токсичное действие [11]. Один из типов взаимного влияния металлов, связан со способностью различных металлов встраиваться в структуру одного и того же фермента [12]. Это может приводить как к увеличению, так и снижению активности фермента [13].

Оценка активности пищеварительных гидролаз является актуальной, поскольку изменение их активности, оказывает прямое действие на эффективность ассимиляции пищи. Амилолитические гидролазы способствуют обеспечению организма углеводами (наравне с жирами) - главными источниками энергии для рыб [1,14]. Снижение поступления углеводов, будет приводить к нарушению обменных процессов и как следствие недоразвитию и гибели рыб. Целью исследования было определение влияния органоминерального хелатного комплекса на амилолитическую активность ферментов кишечника некоторых видов рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Все исследования с рыбой проводили в соответствии с международным этическим стандартом, изложенным в Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в других научных целях.

Исследования проводилось на кафедре биохимии и физиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины» и на базе двух рыбных хозяйств Ленинградской области.

В качестве объектов исследования

использовали сеголеток (0+) 3-х видов пресноводных костистых рыб: *Carassius auratus* (n=20), *Cyprinus carpio* (n=20), *Oncorhynchus mykiss* (n=20). Длина тела (от рострума до кончика хвоста) и масса представлены в таблице 1.

Исследовали органоминеральный хелатный комплекса (ООО "ЮПИТЕР", Россия). Действующая основа биологически активной добавки (далее БАД): комплекс этилендиаминдиантарной кислоты и лизина с микроэлементами (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, I). Микроэлементный состав хелатного комплекса представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Размерно-весовые показатели рыб

	<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Длина тела, см	8,5±0,2	12,0±0,3	14,8±0,2
Масса, г	33,6±1,8	41,7±2,2	46,3±2,7

Таблица 2 – Микроэлементный состав исследуемого органоминерального хелатного комплекса

Микроэлемент	Содержание г/л
железо	33,1
марганец	6,7
медь	3,4
цинк	18,6
кобальт	0,76
селен	0,43
йод	1,01
Общее количество (сумма) элементов	64

Хелатный комплекс (многокомпонентная субстанция) представлял раствор темно-коричневого цвета, без запаха, хорошо растворимый в воде и нерастворимый в органических растворителях, рН раствора БАД - 6,3. Рыбам опытных групп (n=10) в течение 30-ти дней задавали добавку, данные сравнивали с контролем (n=10). Препарат задавали вместе с кормом один раз в день, в концентрации 0,5 г/кг (массы корма). Рыб эвтаназировали раствором МС-222 (концентрация 170 мг/л). Извлекали кишечник и гомогенизировали. Амилолитическую активность определяли в суммарных гомогенатах слизи-

стой оболочки кишечника рыб. Амилолитическая активность отражает суммарную активность ферментов, гидролизующих крахмал (альфа-амилазы КФ 3.2.1.1, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и мальтазы КФ 3.2.1.20). Параметр оценивали по приросту гексоз методом Нельсона в модификации Уголева, Иезуитовой [15]. Детекцию проводили на фотометре фотоэлектрическом КФК-3-01 (Россия).

Статистический анализ проводили с использованием t-критерий Стьюдента, различия между контрольными и опытными группами считали достоверными при выполнении неравенства $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведены исследование амилолитической активности ферментов кишечника некоторых видов рыб при применении органоминерального хелатного комплекса. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Исследования показали, что амилолитическая активность кишечника у *Carassius auratus* составляет $74,8 \pm 6,2$ мкмоль/г $\times$ мин, у *Cyprinus carpio* $168,1 \pm 5,4$ мкмоль/г $\times$ мин, у *Oncorhynchus mykiss* $0,31 \pm 0,02$ мкмоль/г $\times$ мин. Статистически значимые изменения амилолитической активности кишечника при использовании органоминерального хелатного комплекса отсутствовали у всех исследуемых рыб. У рыб опытных групп амилолитическая активность составляла $71,6 \pm 8,4$ мкмоль/г $\times$ мин, $174,3 \pm 6,1$ мкмоль/г $\times$ мин, $0,28 \pm 0,01$ мкмоль/г $\times$ мин для *Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Oncorhynchus mykiss* соответственно.

Уровень амилолитической активности кишечника рыб в контрольной группе согласуются с данными, полученными в более ранних исследованиях [16-17]. От-

сутствие значимых изменений может быть связано с адекватной дозой применяемого хелатного комплекса. Кроме того, ранее рядом исследований на лабораторных животных было показано, что для металлов в виде хелатных комплексов характерна значительно меньшая токсичность, чем для неорганических солей этих же металлов [18-19].

Следует заметить, что в экспериментах *in vitro* установлено отсутствие изменений амилолитической активности ферментов кишечника в присутствии ионов Cd^{2+} , Cu^{2+} и Zn^{2+} у ряда пресноводных рыб, различающихся по типу питания [20-21]. Динамику в отношении амилолитической активности наблюдали при использовании ионов ртути и свинца [22-24]. Это может быть связано с токсическим воздействием металлов на сам кишечник, приводящее к увеличению десквамации эпителия [25]. Таким образом органоминеральный хелатный комплекс в исследуемой дозировке не оказывает негативного влияния на амилолитическую активность ферментов кишечника.

Таблица 3 – Амилолитическая активность кишечника рыб при использовании органоминерального хелатного комплекса

Вид	Амилолитическая активность кишечника (мкмоль/г $\times$ мин)	
	Контрольная группа n=10	Опытная группа n=10
<i>Carassius auratus</i>	$74,8 \pm 6,2$	$71,6 \pm 8,4$
<i>Cyprinus carpio</i>	$168,1 \pm 5,4$	$174,3 \pm 6,1$
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	$0,31 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,01$

Примечание: * Различие по данному показателю статистически достоверно между контрольной и опытной группой ($p \leq 0,05$ при t критическом 2,101).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

На основании полученных исследований, можно сделать заключение, что применение органоминерального хелатного комплекса в исследуемой дозировке (отработанной ранее в условиях определения острой и хронической токсичности для рыб [26-28]) не оказывает негативного влияния на амилолитическую активность ферментов кишечника. Во всех подопытных группах достоверного снижения амилолитической активности выявлено

не было. На основании этого можно рекомендовать применение хелатного комплекса для рыб в условиях индустриальной аквакультуры.

THE EFFECT OF AN ORGANOMINERAL CHELATE COMPLEX ON THE AMYLOLYTIC ACTIVITY OF INTESTINAL ENZYMES IN SOME FISH SPECIES

Polistovskaya P.A. – PhD., associate Professor of the Department of biochemistry and physiology; Karpenko L.Yu. – Doctor

of Biological Sciences, Professor, Head of the Department. Biochemistry and physiology; **Makhnin I.A.*** – post-graduate student of the 1st year of study, assistant of the Department of Biochemistry and Physiology; **Azhikina O.Yu.** – graduate student of the 2nd year of study.

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* ilya.makh@mail.ru

Financing: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation 23-76-01042, <https://rscf.ru/project/23-76-01042>

ABSTRACT

To date, there is a large amount of information regarding the effect of heavy metals on the hydrolases of the digestive tract. It has been established that even biogenic metals in high concentrations can have a toxic effect. The assessment of the activity of digestive hydrolases is relevant, since a change in their activity has a direct effect on the effectiveness of assimilation of food. Amylolytic hydrolases help to provide the body with carbohydrates (along with fats) – the main sources of energy for fish. A decrease in the intake of carbohydrates will lead to a violation of metabolic processes and, as a result, underdevelopment and death of fish. The aim of the study was to determine the effect of an organomineral chelate complex on the amylolytic activity of intestinal enzymes of some fish species. The research was conducted at the Department of Biochemistry and Physiology of the St. Petersburg State University of Veterinary Medicine and on the basis of two fisheries in the Leningrad Region. The fish of the experimental groups (n = 10) were given an additive for 30 days, the data were compared with the control (n = 10). The drug was given together with the feed once a day, at a concentration of 0.5 g / kg (feed weight). Fingerlings (0+) of 3 species of freshwater bony fish were used as research objects: *Carassius auratus* (n=20), *Cyprinus carpio* (n=20), *Oncorhynchus mykiss* (n=20). Amy-

lolytic activity was determined in the total homogenates of the intestinal mucosa of fish. The activity was assessed by the increase in hexoses by the Nelson method in the modification of Ugolev, Jesuitova. The detection was carried out on a photoelectric KKK-3 photometer. Based on the studies obtained, it can be concluded that the use of an organomineral chelate complex in the studied dosage (previously worked out in conditions of determining acute and chronic toxicity for fish) does not have a negative effect on the amylolytic activity of intestinal enzymes. There was no significant decrease in amylolytic activity in all experimental groups. Based on this, it is possible to recommend the use of a chelate complex for fish in industrial aquaculture.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мясников Г. Г. Корма и технология кормления рыб: курс лекций. Горки: БГСХА, 2020. – 221 с
2. Тутельян В.А. Научные основы здорового питания. – М., 2010. – С. 1-20
3. Козлов В.И. и др. Аквакультура: учебник / В.И. Козлов, А.Л. Никифоров Никишин, А.Л. Бородин. – М.: МГУТУ – 2004. – С. 433
4. Анализ показателей лизоцимной активности сыворотки крови радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) при применении препарата "Smartbiotic" / Л. Ю. Карпенко, А. А. Бахта, К. П. Иванова [и др.] // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2021. – № 4. – С. 140-142.
5. Zhang J, Hamza I. Zebrafish as a model system to delineate the role of heme and iron metabolism during erythropoiesis. *Mol Genet Metab.* 2019 Nov;128(3):204-212. doi: 10.1016/j.ymgme.2018.12.007. Epub 2018 Dec 24. PMID: 30626549; PMCID: PMC6591114.
6. Lall SP, Kaushik SJ. Nutrition and Metabolism of Minerals in Fish. *Animals (Basel).* 2021 Sep 16;11(9):2711. doi: 10.3390/ani11092711. Erratum in: *Animals (Basel).* 2021 Dec 09;11(12): PMID: 34573676; PMCID: PMC8466162.
7. Terova G, Rimoldi S, Izquierdo M, Pirrone

- C, Ghrab W, Bernardini G. Nano-delivery of trace minerals for marine fish larvae: influence on skeletal ossification, and the expression of genes involved in intestinal transport of minerals, osteoblast differentiation, and oxidative stress response. *Fish Physiol Biochem.* 2018 Oct;44(5):1375-1391. doi:10.1007/s10695-018-0528-7. Epub 2018 Jun 17. PMID: 29911270.
8. Влияние минеральной кормовой добавки "Хелавит" на минеральный обмен лошадей: диссертация ... кандидата ветеринарных наук: 06.02.05 / Селимов Ренат Наилевич; [Место защиты: С.-Петерб. гос. акад. вет. медицины]. - Санкт-Петербург, 2011. - 142 с.: ил.
9. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. - № 1. - С. 99-108
10. Неваленный А.Н., Туктаров А.В., Бедняков Д.А. Функциональная организация и адаптивная регуляция процессов пищеварения у рыб. Астрахань: АГТУ, 2003. - 152 с.
11. Голованова И.Л. Раздельное и сочетанное влияние температуры, pH и тяжелых металлов (Cu, Zn), на активность карбогидраз кишечника рыб // Токсикологический вестник. 2011. - №1 (106).
12. Неорганическая биохимия / Ред. Г. Эйхгорн; Пер. с англ. под ред. М.Е. Вольпина, К.Б. Яцимирского. - Москва: Мир, 1978. - 22 см.
- Т. 2 / [Н. Сутин, А.Э. Мартел, М.М. Такуи Хан и др.]. - 1978. - 736 с.
13. Ackland L. Zinc deficiency and its inherited disorders - A review / Ackland L., Michalczyk A. // *Genes & nutrition* - 2006 - vol. 1, n.1 - P.41-50
14. Физиология рыб. Книга 2. Питание и пищеварение / В. Г. Скопичев, Л. Ю. Карпенко, И. О. Боголюбова [и др.]. - Санкт-Петербург: Квадро, 2017. - 344 с. - ISBN 978-5-906371-25-8.
15. Уголев А. М. Определение активности инвертазы и других дисахаридаз / А. М. Уголев, Н. Н. Иезуитова // Исследование пищеварительного аппарата у человека. - Л.: Наука, 1969. - С. 192-196.
16. Уголев, А.М. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб / А.М. Уголев, В.В. Кузьмина. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. - 238 с.
17. Голованова, И.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на гидролиз углеводов у пресноводных костистых рыб и объектов их питания: автореф. дис. ... докт. биол. наук. / Голованова Ирина Леонидовна. СПб., 2006. 46 с.
18. Layrisse M. Iron Bioavailability in Humans from Breakfasts Enriched with Iron Bis-Glycine Chelate, Phytates and Polyphenols / Layrisse M., Garcia-Casal M.N., Solano L. // *Journal of Nutrition* - 2000 - Vol.130 - P.2195-2199.
19. Hosseinimehra S.J. 5,7-Dihydroxychromone-2-carboxylic acid and its transition-metal (Mn and Zn) chelates as non-thiol radioprotective agents / Hosseinimehra S.J., Emamia S., Taghdisia S.M. Akhlaghpour S. // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2008 - Vol. 43, Issue 3 - P.557-561.
20. Филиппов А. А., Голованова И. Л. Раздельное и совместное влияние меди и цинка in vitro на активность карбогидраз кишечника пресноводных костистых рыб // Биология внутр. вод. 2010. № 1. С. 104-109
21. Влияние накопленной ртути на активность гликозидаз и их чувствительность к действию ионов тяжелых металлов у головастиков серой жабы // Физиология и биохимия водных животных [отв. ред. Г.М. Чуйко]. Ярославль: Канцлер, 2015. (РАН, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. Труды; вып. 72 (75). - С. 60-65.
22. Влияние цинка на гематологические показатели карпа / П. А. Полистовская, Л. Ю. Карпенко, А. И. Енукашвили [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. - 2019. - Т. 240, № 4. - С. 151-154.
23. Голованова И.Л., Урванцева Г.А. Влияние ионов свинца на активность гликозидаз у рыб-бентофагов из участков Рыбинского водохранилища с разной антропогенной нагрузкой // Вестник АГТУ.

Серия: Рыбное хозяйство. 2013. №3.

24. Влияние свинца на изменение показателей углеводного обмена у карпа / Л. Ю. Карпенко, П. А. Полистовская, К. П. Иванова, А. Б. Балыкина // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 4. – С. 100-102.

25. Карпенко Л.Ю., Полистовская П.А., Енукашвили А.И. Влияние тяжелых металлов на механическую прочность эпителия кишечника карпа // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2019. №1 (41).

26. Assessment of acute toxicity of the organomineral chelate complex for *Danio rerio* embryos / P. A. Polistovskaya, L. Yu. Karpenko, O. Yu. Azhikina, I. A. Makhnin // International Conference on Ensuring Sustainable Development: Ecology, Energy, Earth Science and Agriculture (AEES2023), Moscow, Russia, 21–22 декабря 2023 года. – Les Ulis, France: EDP SCIENCES S A, 2024. – P. 1005.

27. Дехорионизация эмбрионов *Danio rerio* для оценки острой токсичности органо-минеральных хелатных комплексов / Полистовская П.А., Карпенко Л.Ю., Ажикана О.Ю., Махнин И.А. // Международный вестник ветеринарии. 2024. – №1. – С. 99-105.

28. Влияние органоминарального хелатного комплекса на репродуктивную функцию самок и выживаемость икры *Danio rerio* / Полистовская П.А., Карпенко Л.Ю., Ажикана О.Ю., Махнин И.А. // Международный вестник ветеринарии. 2024. - №1. – С. 112-119.

REFERENCES

1. Myasnikov G. G. Feed and fish feeding technology: a course of lectures. Slides: BGSHA, 2020. 221 s
2. Tutelyan V.A. Scientific foundations of healthy nutrition. – M., 2010. – pp. 1-20
3. Kozlov V.I. et al. Aquaculture: textbook / V.I. Kozlov, A.L. Nikiforov Nikishin, A.L. Borodin. - M.: MGUTU - 2004. - p. 433
4. Analysis of indicators of lysozyme activity of blood serum of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) when using the drug "Smartbiotic" / L. Y. Karpenko, A. A. Bakh-

ta, K. P. Ivanova [et al.] // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. – 2021. – No. 4. – pp. 140-142. – DOI 10.52419/issn2072- 6023.2021.4.140.

5. Zhang J, Hamza I. Zebrafish as a model system to delineate the role of heme and iron metabolism during erythropoiesis. *Mol Genet Metab.* 2019 Nov;128(3):204-212. doi: 10.1016/j.ymgme.2018.12.007. Epub 2018 Dec 24. PMID: 30626549; PMCID: PMC6591114.

6. Lall SP, Kaushik SJ. Nutrition and Metabolism of Minerals in Fish. *Animals (Basel).* 2021 Sep 16;11(9):2711. doi: 10.3390/ani11092711. Erratum in: *Animals (Basel).* 2021 Dec 09;11(12): PMID: 34573676; PMCID: PMC8466162.

7. Terova G, Rimoldi S, Izquierdo M, Pirrone C, Ghrab W, Bernardini G. Nano-delivery of trace minerals for marine fish larvae: influence on skeletal ossification, and the expression of genes involved in intestinal transport of minerals, osteoblast differentiation, and oxidative stress response. *Fish Physiol Biochem.* 2018 Oct;44(5):1375-1391.

8. The effect of the mineral feed additive "Chelavit" on the mineral metabolism of horses: dissertation... Candidate of Veterinary Sciences: 02/06/05 / Selimov Renat Nailevich; [Place of protection: St. Petersburg State Academy of Veterinary Sciences. medicine]. - St. Petersburg, 2011. 142 p.: ill.

9. Golovanova I.L. The influence of heavy metals on the physiological and biochemical status of fish and aquatic invertebrates // *Biology of inland waters.* - 2008.- No. 1.- pp. 99-108

10. Nevalenny A.N., Tuktarov A.V., Bednyakov D.A. Functional organization and adaptive regulation of digestive processes in fish. Astrakhan: AGTU, 2003. 152 p.

11. Golovanova I.L. The separate and combined effect of temperature, pH and heavy metals (Si, Zn) on the activity of fish intestinal carbohydrases // *Toxicological Bulletin.* 2011. №1 (106).

12. *Inorganic Biochemistry* / Ed. by G. Eichhorn; Translated from English. edited by M.E. Volpin, K.B. Yatsimirsky. - Moscow: Mir, 1978. - 22 cm. Vol. 2 / [N. Sutin, A.E. Martel, M.M. Takui Khan, etc.]. - 1978. -

736 p.

13. Ackland L. Zinc deficiency and its inherited disorders - A review / Ackland L., Michalczyk A. // *Genes & nutrition* – 2006 - vol. 1, n.1 - P.41-50

14. Physiology of fish. Book 2. Nutrition and digestion / V. G. Skopichev, L. Y. Karpenko, I. O. Bogolyubova [et al.]. – St. Petersburg: Quadro, 2017. – 344 p. – ISBN 978-5-906371-25-8.

15. Ugolev A.M. Determination of the activity of invertase and other disaccharidases / A.M. Ugolev, N. N. Jesuitova // *The study of the digestive apparatus in humans*. – L.: Nauka, 1969. – pp. 192-196.

16. Ugolev, A.M. Digestive processes and adaptations in fish / A.M. Ugolev, V.V. Kuzmina. St. Petersburg.: Hydrometeoizdat, 1993. 238 p.

17. Golovanova, I.L. The influence of natural and anthropogenic factors on the hydrolysis of carbohydrates in freshwater bony fish and their food items: abstract. ... doct. Biol. sciences. / Golovanova Irina Leonidovna. St. Petersburg, 2006. 46 p

18. Layrisse M. Iron Bioavailability in Humans from Snacks Enriched with Iron Bis-Glycine Chelate, Phytates and Polyphenols / Layrisse M., Garcia-Casal M.N., Solano L. // *Journal of Nutrition* - 2000 - Vol.130 - P.2195-2199.

19. Hosseinimehra S.J. 5,7-Dihydroxychromone-2-carboxylic acid and its transition-metal (Mn and Zn) chelates as non-thiol radioprotective agents / Hosseinimehra S.J., Emamia S., Taghdisia S.M. Akhlaghpour S. // *European Journal of Medicinal Chemistry* - 2008 - Vol. 43, Issue 3 - P.557-561.

20. Filippov A. A., Golovanova I. L. The separate and combined effect of copper and zinc in vitro on the activity of intestinal carbohydrases of freshwater bony fish // *Biology of internal waters*. 2010. No. 1. pp. 104-109

21. The effect of accumulated mercury on the activity of glycosidases and their sensitivity to the action of heavy metal ions in gray toad tadpoles // *Physiology and biochemistry of aquatic animals* [ed. by G.M. Chuiko]. Yaroslavl: Chancellor, 2015. (RAS,

Institute of Biology of Inland Waters named after I.D. Papanin. Proceedings; issue 72 (75). pp. 60-65.

22. The effect of zinc on hematological parameters of carp / P. A. Polistovskaya, L. Y. Karpenko, A. I. Enukashvili [et al.] // *Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. - 2019. – Vol. 240, No. 4. – pp. 151-154. – DOI 10.31588/2413-4201-1883-240-4-151-154.

23. Golovanova I.L., Urvantseva G.A. The effect of lead ions on glycosidase activity in benthic fish from sections of the Rybinsk reservoir with different anthropogenic loads // *Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries*. 2013. №3.

24. The influence of lead on changes in carbohydrate metabolism in carp / L. Y. Karpenko, P. A. Polistovskaya, K. P. Ivanova, A. B. Balykina // *Issues of regulatory regulation in veterinary medicine*. – 2019. – No. 4. – pp. 100-102.

25. Karpenko L.Yu., Polistovskaya P.A., Enukashvili A.I. The influence of heavy metals on the mechanical strength of the intestinal epithelium of carp // *Topical issues of veterinary biology*. 2019. №1 (41).

26. Assessment of acute toxicity of the organic chelate complex for Danio rerio embryos / P. A. Polistovskaya, L. Yu. Karpenko, O. Yu. Azhikina, I. A. Makhnin // *International Conference on Ensuring Sustainable Development: Ecology, Energy, Earth Science and Agriculture (AEES2023)*, Moscow, Russia, December 21-22 in 2023. – Les Ulis, France: EDP SCIENCES S A, 2024. – P. 1005.

27. Dehorionization of Danio rerio embryos for the assessment of acute toxicity of organomineral chelate complexes / Polistovskaya P.A., Karpenko L.Yu., Azhikana O.Yu., Makhnin I.A. // *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2024. No.1. pp. 99-105.

28. The influence of the organomineral chelate complex on the reproductive function of females and the survival of eggs Danio rerio / Polistovskaya P.A., Karpenko L.Yu., Azhikana O.Yu., Makhnin I.A. // *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2024. – No. 1.– pp. 112-119.