

УДК: 639.3.043:611.018.6

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.3.313

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ

Полистовская П.А. – канд. биол. наук., доц. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0003-1977-0913); Карпенко Л.Ю. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993); Махнин И.А.\* – асп. 2-го года обучения, асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-7484-3591); Ажикина О.Ю. – асп. 2-го года обучения (ORCID 0000-0003-1071-8289).

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

ilya.makh@mail.ru

**Ключевые слова:** атомно-абсорбционная спектрометрия, радужная форель, мышечная ткань, микроэлементы.

**Keywords:** atomic absorption spectrometry, rainbow trout, muscle tissue, trace elements.

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

Поступила: 25.07.2024

Принята к публикации: 20.09.2024

Опубликована онлайн: 01.10.2024



### РЕФЕРАТ

Пищевая ценность рыбы зависит от условий содержания и кормления. Рациональное кормление должно удовлетворять потребности рыб в органической и минеральной компоненте. Обогащение рационов рыб минералами рационализирует хозяйственную деятельность в индустриальной аквакультуре и способствует получению качественной рыбной продукции. Получение обогащенной микроэлементами продукции, возможно за счет добавления к рациону органоминеральных хелатных комплексов. Цель исследования: определить содержание железа, меди, цинка, кобальта, марганца и селена в скелетной мышечной ткани рыб методом атомно-абсорбционной спектрометрии при скормливании корма обогащенного органоминеральными хелатными комплексами. Эксперимент проводили в течение месяца. Объектом исследования служили сеголетки (0+) радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), содержащиеся в рыбном хозяйстве на территории Ленинградской области. Методом пар-аналогов были сформированы опытная (n=10) и контрольная (n=10) группы. В мышечной ткани определяли содержание железа (ГОСТ Р 56372- 2015), меди (ГОСТ Р 56372- 2015), цинка (ГОСТ Р 56372- 2015), кобальта (ГОСТ Р 56372- 2015), марганца (ГОСТ 32343—2013) и селена (ГОСТ 31651-2012) на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-1000 (Люмекс, Россия). Оценку достоверности различий между выборками опытной и контрольной группы проводили с использованием t-критерия Стьюдента с помощью приложения Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp, USA). Различия считали достоверными при  $p \geq 0,05$ . Проведенное исследование показало, что скормливание кор-

ма, обогащенного органоминеральными хелатными комплексами, позволяет значимо увеличить содержание меди, цинка и селена в мышечной ткани рыб. Увеличение содержания элементов в мышечной ткани свидетельствует, что применение хелатных комплексов способствует повышению питательности рыбной продукции. На основании полученных данных, хелатный комплекс можно рекомендовать использовать в индустриальной аквакультуре.

#### ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Рыба играет важную роль в рационе человека. По данным ФАО (на 2024 год) потребление рыбы в РФ составляет 3,169 т. Рыбная продукция является доступным источником белка, фосфолипидов, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минералов [1]. Пищевая ценность рыбы зависит от условий содержания и кормления [2-3].

Несбалансированность рационов кормления рыб является одной из главных причин, ведущих к снижению поедаемости кормов [4-6]. Корма для рыб зачастую производят на заводах общего животноводческого профиля, не учитывая специфические требования к изготовлению, качеству и безопасности [7]. Результатами такого производства становятся несбалансированность и неэффективность кормления рыб [4].

Рациональное кормление должно удовлетворять потребности рыб в органической и минеральной компоненте [8]. Оптимальный уровень обеспеченности рационов минералами (такими как кальций, калий, натрий, железо, цинк, медь, селен и т. д.), может способствовать увеличению выживаемости, темпов роста и устойчивости к заболеваниям [9]. Обогащение рационов рыб минералами рационализует хозяйственную деятельность в индустриальной аквакультуре и способствует получению качественной рыбной продукции [10]. Качество и безопасность являются ключевыми требованиями потребителей к пищевой продукции [11].

Получение обогащенной микроэлементами продукции, возможно за счет добавления к рациону органоминеральных хелатных комплексов. Рядом 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 [12-13].

Цель исследования: определить содержание железа, меди, цинка, кобальта, марганца и селена в скелетной мышечной ткани рыб методом атомно-абсорбционной спектрометрии при скармливании корма обогащенного органоминеральными хелатными комплексами.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

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

Работа выполнена на базе кафедры биохимии и физиологии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины”.

Эксперимент проводили в течение месяца. Объектом исследования служили сеголетки (0+) радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), содержащиеся в рыбном хозяйстве на территории Ленинградской области. Методом пар-аналогов были сформированы опытная (n=10) и контрольная (n=10) группы. Длина тела (от роострума до кончика хвоста) и масса представлены в таблице 1.

Исследовали органоминеральный хелатный комплекса (ООО “Юпитер”, Россия). Действующая основа минеральной добавки: комплекс этилендиаминдиантарной кислоты и лизина с микроэлементами (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, I). Микроэлементный состав хелатного комплекса представлен в таблице 2.

Рыбам опытных групп (n=10) в течение 30-ти дней задавали добавку, данные сравнивали с контролем (n=10). Хелатный комплекс задавали вместе с кормом

один раз в день, в концентрации 0,5 г/кг (считая от массы корма). Безопасность и доза были определены в раннее опубликованных исследованиях [14-18]. Рыб эвтаназировали раствором трикаина (МС-222) в концентрации 170 мг/л. Контрольный метод эвтаназии – обезглавливание. После эвтаназии извлекали скелетную мышечную ткань и помещали в бакпечатки. Образцы сушили в бакпечатках в вакуумной лиофилизаторной сублимационной сушилке (К-ФД12С (-60/-80), Китай).

В мышечной ткани определяли содержание железа (ГОСТ Р 56372- 2015), меди

(ГОСТ Р 56372- 2015), цинка (ГОСТ Р 56372- 2015), кобальта (ГОСТ Р 56372- 2015), марганца (ГОСТ 32343—2013) и селена (ГОСТ 31651-2012) на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-1000 (Люмекс, Россия).

Оценку достоверности различий между выборками опытной и контрольной группы проводили с использованием t-критерия Стьюдента с помощью приложения Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp, USA). Различия считали достоверными при  $p \leq 0,05$ .

**Таблица 1 – Размерно-весовые показатели рыб**

|                |          |
|----------------|----------|
| Длина тела, см | 14,8±0,2 |
| Масса, г       | 46,3±2,7 |

**Таблица 2 – Микроэлементный состав исследуемого органоминерального хелатного комплекса**

| Микроэлемент                       | Содержание г/кг |
|------------------------------------|-----------------|
| 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              |

## РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведены исследования содержания железа, меди, цинка, кобальта, марганца и селена в скелетной мышечной ткани рыб методом атомно-абсорбционной спектроскопии при скармливании корма, обогащенного органоминеральными хелатными комплексами.

Исследования показали, что в контрольной группе содержание железа составляет 6,65±0,9 мг/кг, меди - 0,14±0,02 мг/кг, кобальта - 0,31±0,06 мг/кг, селена - 0,12±0,01 мг/кг, цинка - 6,9±0,4 мг/кг, марганца - 0,38±0,07 мг/кг. Показано, что включение в рацион органоминерального хелатного комплекса приводит к статистически значимому увеличению концентраций железа (9,5±0,75 мг/кг), марганца (0,68±0,04 мг/кг) и селена (0,39±0,03 мг/

кг) в мышечной ткани. Определено, что в опытной группе содержание меди составляет 0,19±0,04 мг/кг, кобальта - 0,40±0,02 мг/кг, цинка - 9,2±1,1 мг/кг. Следует отметить, что схожая картина наблюдалась при использовании хелатных комплексов (с отличающимся количественным составом элементов) в другом исследовании, однако авторы установили достоверные отличия по железу, цинку и меди [17].

Увеличение содержания элементов в мышечной ткани свидетельствует, что применение хелатных комплексов способствует повышению питательности рыбной продукции. Анализ норм физиологических потребностей в минеральных веществах для мужчин и женщин [19], показывает, что применение обогащенной продукции позволяет скорректировать

рацион и обеспечить адекватное потребление микроэлементов населением групп риска [20]

Известно, что Ленинградская область отличаются пониженным содержанием меди, кобальта, йода, селена и цинка в

почвах и растениях, в связи с чем населению необходимы дополнительные источники минералов [21]. Обогащенная продукция аквакультуры может стать одним из таких источников.

**Таблица 3 – Элементный состав мышечной ткани радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)**

| Показатель | Контрольная группа n=10 | Опытная группа n=10 |
|------------|-------------------------|---------------------|
| Fe мг/кг   | 6,65±0,9                | 9,5±0,75*           |
| Cu мг/кг   | 0,14±0,02               | 0,19±0,04           |
| Co мг/кг   | 0,31±0,06               | 0,40±0,02           |
| Se мг/кг   | 0,12±0,01               | 0,39±0,03*          |
| Zn мг/кг   | 6,9±0,4                 | 9,2±1,1             |
| Mn мг/кг   | 0,38±0,07               | 0,68±0,04*          |

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

**Таблица 4 – Нормы физиологических потребностей в минеральных веществах для мужчин и женщин (МР 2.3.1.0253-21)**

| Показатель (в сут.) | Мужчин (старше 18 лет) | Женщин (старше 18 лет) |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| Железо, мг          | 10                     | 18                     |
| Цинк, мг            | 12                     | 12                     |
| Медь, мг            | 1,0                    | 1,0                    |
| Марганец, мг        | 2,0                    | 2,0                    |
| Селен, мкг          | 70                     | 55                     |
| Кобальт, мкг        | 10                     | 10                     |

#### ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Развитие программ фортификации (обогащения) пищевых продуктов имеет большое значения в поддержании продовольственной безопасности страны [20]. Проведенное исследование показало, что скармливание корма, обогащенного органо-минеральными хелатными комплексами, позволяет значимо увеличить содержание меди, цинка и селена в мышечной ткани рыб. Увеличение содержания элементов в мышечной ткани свидетельствует, что применение хелатных комплексов способствует повышению питательности рыбной продукции. На основании полученных данных, хелатный комплекс можно рекомендовать использовать в индустриальной аквакультуре.

#### THE EFFECT OF ORGANOMINERAL CHELATE COMPLEXES ON THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN FISH MUSCLE TISSUE

**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

The nutritional value of fish depends on the conditions of keeping and feeding. Rational feeding should meet the needs of fish in organic and mineral components. The enrichment of fish diets with minerals rationalizes economic activities in industrial aquaculture and contributes to the production of high-quality fish products. Obtaining products enriched with trace elements is possible by adding organomineral chelate complexes to the diet. The aim of the study was to determine the content of iron, copper, zinc, cobalt, manganese and selenium in the skeletal muscle tissue of fish by atomic absorption spectrometry when feeding feed enriched with organomineral chelate complexes. The experiment was carried out for a month. The object of the study was fingerlings (0+) of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) contained in fisheries in the Leningrad region. The experimental (n=10) and control (n=10) groups were formed by the method of analog pairs. The content of iron (GOST R 56372- 2015), copper (GOST R 56372- 2015), zinc (GOST R 56372- 2015), cobalt (GOST R 56372- 2015), manganese (GOST 32343-2013) and selenium (GOST 31651-2012) were determined in muscle tissue using the MGA-1000 atomic absorption spectrometer (Lumex, Russia). The reliability of the differences between the samples of the experimental and control groups was assessed using the Student's t-test using the Microsoft Excel 2010 application (Microsoft Corp, USA). The differences were considered significant at  $p \geq 0.05$ . The study showed that feeding feed enriched with organomineral chelate complexes can significantly increase the content of copper, zinc and selenium in the muscle tissue of fish. An increase in the content of elements in muscle tissue indicates that the use of chelate complexes contributes to an increase in the nutritional value of fish products. Based on the data obtained, the chelate com-

plex can be recommended for use in industrial aquaculture.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaleshkumar, K., Rajaram, R., Paray, B. A. & Ali, S. Are puffer fishes a viable source of nutritional value for human consumption—An investigation on recently commercialized marine puffer fishes (Tetraodontidae: Tetraodontiformes). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29(31), 47350–47362. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19072-7> (2022).
2. Khawar, M., Masood, Z., Ul Hasan, H. et al. Trace metals and nutrient analysis of marine fish species from the Gwadar coast. *Sci Rep* 14, 6548 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57335-0>
3. Мясников, Г. Г. Корма и технология кормления рыб / Г. Г. Мясников — курс лекций. — Горки: УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2020 — 221 с.
4. Селиванова, И. Р., Хайрулина, Т. П., Глебова, И. А., Головачева, Н. А., Шиллерова, А. Н. Сравнительная характеристика кормов по биохимическим показателям сыворотки крови *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) / И. Р. Селиванова, Т. П. Хайрулина, И. А. Глебова, Н. А. Головачева, А. Н. Шиллерова // Водные биоресурсы и среда обитания. — 2023. — № 2. — С. 51-59.
5. Гамыгин Е.А. Проблема кормов и кормопроизводства для рыб: состояние и задачи // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. 2001. Т. 3, вып. 77. С. 81–82. 2.
6. Соколов А.В., Дворянинова О.П. Оценка эффективности продукционного корма для радужной форели // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. 2019. № 3. С. 53–62. doi: 10.24411/2311-6447-2019-10007.
7. Артемов, Р. В., Арнаутов, М. В., Бочкарев, А. И., Баскакова, Ю. А., Артемов, А. В., Кокшаров, А. Е., Биндюков, С. В. Обоснование рациональных параметров экструдирования растительных компонентов на оборудовании малой мощности для получения комбикормов для аква-

- культуры / Р. В. Артемов, М. В. Арнаут, А. И. Бочкарев, Ю. А. Баскакова, А. В. Артемов, А. Е. Кокшаров, С. В. Биндюков // Технология переработки водных биоресурсов. — 2019. — № т.176. — С. 182-192.
- 8.Щербина, М. А., Гамыгин, Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин — 1-е изд. — Москва: ВНИРО, 2015 — 292 с.
- 9.Muralisankar, T., Mohan, K., Udhayakumar, V., Balamuralikrishnan, B. (2022). Potential Role of Dietary Minerals in Fish and Crustaceans. In: Balasubramanian, B., Liu, WC., Sattanathan, G. (eds) *Aquaculture Science and Engineering*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0817-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0817-0_16)
- 10.Зуева М. С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб // Животноводство и кормопроизводство. 2022. №4.
- 11.Горина Е.А. Качество и безопасность как ключевые требования потребителей к пищевой продукции // *π-Economy*. 2009. №5 (85).
- 12.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; PMID: PMC8466162.
- 13.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
- 14.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.
- 15.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.
- 16.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.
- 17.Климов, В. А. Прижизненное формирование обогащенной микроэлементами рыбной продукции в условиях аквакультуры белгородской области: специальность 4.3.3. «Пищевые системы»: Автореферат на соискание кандидата технических наук / Климов, В. А.; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)». — Москва, 2023. — 24 с.
- 18.Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами) / Н. В. Барулин [и др.]. — Горки: БГСХА, 2016. — 180 с.
- 19.Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 “Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации” (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.)
- 20.Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов // Вопросы питания. 2016. №2.
- 21.Селимов, Р. Н. Влияние минеральной кормовой добавки "Хелавит" на минеральный обмен лошадей: специальность 06.02.05 «Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная

экспертиза»: Автореферат на соискание кандидата ветеринарных наук / Селимов, Р. Н.; ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». — Санкт-Петербург, 2011. — 20 с.

## REFERENCES

1. Kaleshkumar, K., Rajaram, R., Paray, B. A. & Ali, S. Are puffer fishes a viable source of nutritional value for human consumption—An investigation on recently commercialized marine puffer fishes (Tetraodontidae: Tetraodontiformes). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29(31), 47350–47362. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19072-7> (2022).
2. Khawar, M., Masood, Z., Ul Hasan, H. et al. Trace metals and nutrient analysis of marine fish species from the Gwadar coast. *Sci Rep* 14, 6548 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57335-0>
3. Myasnikov, G. G. Feed and fish feeding technology / G. G. Myasnikov — a course of lectures. — Gorki: Educational institution "Belarusian State Agricultural Academy", 2020 — 221 p.
4. Selivanova, I. R., Khairulina, T. P., Glebova, I. A., Golovacheva, N. A., Shillerova, A. N. Comparative characteristics of feed according to biochemical parameters of blood serum *Opsohupshis mykiss* (Walbaum, 1792) [Text] / I. R. Selivanova, T. P. Khairulina, I. A. Glebova, N. A. Golovacheva, A. N. Shillerova // *Aquatic bioresources and habitat.* - 2023. — No. 2. — pp. 51-59.
5. Gamygin E.A. The problem of feed and forage production for fish: state and tasks // *Collection of scientific papers of VNIIPRH.* 2001. Vol. 3, issue. 77. pp. 81-82. 2.
6. Sokolov A.V., Dvoryaninova O.P. Evaluation of the effectiveness of productive feed for rainbow trout // *Technologies of food and processing industry of agroindustrial complex — healthy food products.* 2019. No. 3. pp. 53-62. doi: 10.24411/2311-6447-2019-10007.
7. Artyomov, R. V., Arnautov, M. V., Bochkarev, A. I., Baskakova, Yu. A., Artyomov, A.V., Koksharov, A. E., Bindyukov, S. V. Justification of rational parameters of extrusion of plant components on low-power equipment for obtaining compound feeds for aquaculture / R. V. Artyomov, M. V. Arnautov, A. I. Bochkarev, Yu. A. Baskakova, A.V. Artemov, A. E. Koksharov, S. V. Bindyukov // *Technology of processing of aquatic biological resources.* — 2019. — No. T.176. — pp. 182-192.
8. Shcherbina, M. A., Gamygin, E. A. Fish feeding in freshwater aquaculture / M. A. Shcherbina, E. A. Gamygin — 1st ed. — Moscow: VNIRO, 2015 — 292 p.
9. Muralisankar, T., Mohan, K., Udhayakumar, V., Balamuralikrishnan, B. (2022). Potential Role of Dietary Minerals in Fish and Crustaceans. In: Balasubramanian, B., Liu, WC., Sattanathan, G. (eds) *Aquaculture Science and Engineering.* Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0817-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0817-0_16)
10. Zueva M. S. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish // *Animal husbandry and feed production.* 2022. №4.
11. Gorina E.A. Quality and safety as key consumer requirements for food products // *π -Economy.* 2009. №5 (85).
12. 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.
13. 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
14. 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, December 21-22, 2023.–Les Ulis, France: EDP SCIENCES S A, 2024.–P. 1005.
15. 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.
16. The effect 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., Makhnini.A.//International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024.- No. 1. – pp. 112-119.
17. Klimov, V. A. Lifetime formation of fish products enriched with trace elements in the conditions of aquaculture of the Belgorod region: specialty 4.3.3. "Food systems»: Abstract for Candidate of Technical Sciences / Klimov, V. A.; Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU). — Moscow, 2023. — 24 c.
18. Recommendations for the cultivation of rainbow trout fish planting material in fish-breeding industrial complexes (with temporary standards) / N. V. Barulin [et al.]. - Gorki: BGSHA, 2016. – 180 p.
19. Methodological recommendations MP 2.3.1.0253-21 "Norms of physiological energy and nutritional needs for various population groups of the Russian Federation" (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being on July 22, 2021)
20. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Analysis of domestic and international experience in the use of vitamin-enriched foods // Nutrition issues. 2016. №2.
21. Selimov, R. N. The effect of the mineral feed additive "Chelavit" on the mineral metabolism of horses: specialty 06.02.05 "Veterinary sanitation, ecology, zoo hygiene and veterinary and sanitary expertise»: Abstract for the Candidate of Veterinary Sciences / Selimov, R. N.; St. Petersburg State University of Veterinary Medicine. — St. Petersburg, 2011. — 20 p.