

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО / FISHERIES,
AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21>

ВЛИЯНИЕ КОРМЛЕНИЯ СТАРТОВЫМИ ИСКУССТВЕННЫМИ КОРМАМИ, ОБОГАЩЕННЫМИ
ГАПРИНОМ, НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАННЕЙ МОЛОДИ СИБИРСКОГО ОСЕТРА

Научная статья

Зенкович П.А.^{1,*}, Корентович М.А.², Литвиненко А.И.³, Томилова Е.В.⁴

¹ORCID : 0000-0002-6678-1351;

²ORCID : 0000-0003-4368-3019;

³ORCID : 0000-0002-1322-6899;

⁴ORCID : 0009-0003-1097-6971;

^{1, 2, 3, 4} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zenkovich.pa[at]edu.gausz.ru)

Аннотация

Микроэлементы (медь, железо, марганец, цинк, хром, кобальт и др.) необходимы для жизнедеятельности рыб. Особенно важно их значение на ранних стадиях онтогенеза. При проведении исследований изучали динамику содержания меди, железа, марганца, цинка, хрома и кобальта в теле молоди сибирского осетра обской популяции при ее подращивании на стартовых искусственных кормах, обогащенных сухой инактивированной биомассой метанотрофных бактерий (гаприн – *Methylococcus capsulatus*). Стартовые искусственные корма обогащали в вариантах опыта гаприном (в количестве 100-200 г/кг корма), льняным маслом и препаратом-премиксом «Арфит». Результаты исследований показали, что обогащение стартовых искусственных кормов позволило существенно повысить выживаемость молоди и ее темп роста. Установлено, что к концу экспериментальных работ содержание меди и цинка в теле молоди сибирского осетра накапливалось, а содержание железа, марганца, хрома и кобальта снижалось. При добавлении в корма 20% гаприна содержание всех микроэлементов (за исключением железа) в теле молоди сибирского осетра было выше, чем в контроле.

Ключевые слова: гаприн, стартовые искусственные корма, микроэлементы, молодь сибирского осетра.

INFLUENCE OF FEEDING ARTIFICIAL STARTER FODDER ENRICHED WITH GAPRIN ON THE CONTENT
OF TRACE ELEMENTS IN EARLY JUVENILE SIBERIAN STURGEON

Research article

Zenkovich P.A.^{1,*}, Korentovich M.A.², Litvinenko A.I.³, Tomilova Y.V.⁴

¹ORCID : 0000-0002-6678-1351;

²ORCID : 0000-0003-4368-3019;

³ORCID : 0000-0002-1322-6899;

⁴ORCID : 0009-0003-1097-6971;

^{1, 2, 3, 4} Northern Trans-Ural State Agrarian University, Tyumen, Russian Federation

* Corresponding author (zenkovich.pa[at]edu.gausz.ru)

Abstract

Micronutrients (copper, iron, manganese, zinc, chromium, cobalt, etc.) are essential for the vital activity of fish. Their importance is especially important in the early stages of ontogenesis. During the research the dynamics of copper, iron, manganese, zinc, chromium and cobalt content in the body of juvenile Siberian sturgeon of the Ob population was studied during their rearing on artificial starter fodder enriched with dry inactivated biomass of methanotrophic bacteria (gaprin – *Methylococcus capsulatus*). The starter artificial fodders were enriched with gaprin (in the amount of 100-200 g/kg of fodder), linseed oil and the drug-premix "Arfit". The results of the research showed that the enrichment of starter artificial fodders allowed to significantly increase the survival rate of juveniles and their growth rate. It was found that by the end of the experimental work the content of copper and zinc in the body of juvenile Siberian sturgeon was accumulating, while the content of iron, manganese, chromium and cobalt was decreasing. When 20% gaprin was added to the fodder, the content of all trace elements (except for iron) in the body of juvenile Siberian sturgeon was higher than in the control.

Keywords: gaprin, artificial starter fodder, micronutrients, juvenile Siberian sturgeon.

Введение

Микроэлементы необходимы для нормального роста и функционирования организма рыб (кроветворение, дыхание, размножение и т.д.). Они участвуют в поддержании осмотического давления и кислотно-щелочного равновесия, в активации ферментативной и гормональной деятельности. Особенно важно значение микроэлементов для рыб на ранних стадиях онтогенеза, поскольку из-за незрелости пищеварительной системы ранней молоди стартовый искусственный корм должен иметь адекватный химический состав, физические свойства и качество, чтобы обеспечить питательными веществами интенсивный рост, а также участвовать в формировании и завершении развития всех звеньев пищеварительной системы. Существующие стартовые искусственные корма до сих пор полностью не удовлетворяют пищевые потребности рыб на ранних этапах постэмбрионального развития.

Цель исследований – изучить влияние кормления обогащенных сухой инактивированной биомассой метанотрофных бактерий стартовыми искусственными кормами на динамику содержания некоторых микроэлементов при подращивании молоди сибирского осетра обской популяции.

Методы и принципы исследования

Объект исследования – сибирский осетр обской популяции (*Acipenser baerii* Brandt, 1869), выращиваемый в рамках выполнения работ по искусственному воспроизводству.

Исследование проводили в августе-сентябре 2021 г. на базе ООО «Новая аквакультура» (г. Тюмень). Рыбоводную икру получали от самки сибирского осетра обской популяции естественного происхождения на АО «Югорский рыбоводный завод» (г. Ханты-Мансийск) в третьей декаде июня 2021 г. В качестве источника водоснабжения на обоих хозяйствах использовали артезианскую воду с применением рециркуляционной системы.

Для проведения экспериментальных работ использовали стартовые искусственные корма фирмы Sorrens (Нидерланды), фракции № 0,5-0,8; 0,8-1,2. Содержание сырого белка в искусственном корме Sorrens – 56%, сырого жира – 15%.

Период выдерживания предличинок сибирского осетра длился 8-10 дней, затем личинок кормили живыми кормами – науплиусами артемии. Далее контрольные группы переводили на стартовый искусственный корм без питательных добавок. Для опытных групп применяли следующие рационы:

1. Стартовый искусственный корм, обогащенный сухой биомассой метанотрофных бактерий (100 г/кг корма), льняным маслом и препаратом «Арфит» (опыт АГ100).
2. Стартовый искусственный корм, обогащенный сухой биомассой метанотрофных бактерий (200 г/кг корма), льняным маслом и препаратом «Арфит» (опыт АГ200).

Микробный белок (гаприн) представляет собой порошкообразный тонкодисперсный продукт серокофейного цвета без примесей и запаха (содержание сырого протеина – 73,5±5,3 %), полученный на основе *Metilococcus capsulatus* штамм ГБС-15. Гаприн поставляла компания ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ» (г. Москва) под маркой «ДРИМФИД™» (см. табл. 1).

Таблица 1 - Содержание микроэлементов в кормовой добавке «ДРИМФИД™», использованной в экспериментах

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21.1>

Микроэлемент	Показатель, мг/кг
Fe	252,7±10,1
Cu	426,5±17,1
Zn	110,8±7,7
Mn	66,8±2,7
Cr	13,1±0,5
Co	3,5±0,1

Личинок и молодь сибирского осетра обской популяции подращивали в 9-ти прямоугольных бассейнах (рабочая площадь – 3,2 м²) при температуре воды 18,8-19,3 °С и содержании растворённого в воде кислорода 6,8-8,1 мгО₂/л. Опытные и контрольная группы включали в себя по три повторности.

Пробы мышечной ткани личинок и молоди сибирского осетра обской популяции были взяты в начале и в конце экспериментальных работ. Содержание микроэлементов определяли в Лаборатории агрохимии и физических свойств почв ФГБОУ ВО Государственного аграрного университета Северного Зауралья.

Определение содержания металлов в пробах осуществляли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра ContrAA 300.

При пробоподготовке для выявления массовой доли металлов руководствовались ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов» [2].

Содержание кальция, железа и марганца определяли по ГОСТ 32343-2013 (ISO 6869:2000) «Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии» [4].

При определении доли кадмия, цинка, свинца и меди руководствовались ГОСТ 30692-2000 «Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия» [3].

Определение массовой доли хрома и кобальта осуществляли с опорой на методы определения тяжелых металлов в продуктах питания [11].

Основные результаты

Результаты подращивания опытных и контрольных групп молоди сибирского осетра представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты подращивания молоди сибирского осетра на искусственных кормах, обогащенных гапринном

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21.2>

Показатели	Контроль	Варианты обогащения искусственного корма
------------	----------	--

	Стартовый искусствен-ный корм	Стартовый искусственный корм + 10 % гаприна	Стартовый искусственный корм + 20 % гаприна
Начальный возраст, сутки	45	45	45
Конечный возраст, сутки	66	66	66
Масса молоди начальная, г	1,70±0,11	1,27±0,08	1,71±0,10
Масса молоди конечная, г	7,60±0,61*	10,96±0,61***	9,13±0,46**
Количество молоди начальное, экз.	15 000	15 000	15 000
Выживаемость молоди, %	45,4	97,9	97,8
Количество молоди конечное, экз.	6 810	14 685	14 670
Абсолютный прирост, г	5,9	9,69	7,43
Коэффициент оплаты корма, кг/кг прироста ихтиомассы	1,43	0,5	0,6
Рыбопродуктивность, кг/м ²	4,19	14,82	11,35

Примечание: по ист. [4, С. 211]; в таблице указаны величины статистически достоверных различий: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Обогащение искусственного корма для рыб микробным белком позволило повысить темп весового роста молоди сибирского осетра на 44,2% (при добавлении в корма 10% гаприна) и на 20,1% (при добавлении 20% гаприна), ее выживаемость – на 52,4-52,5%. Рыбопродуктивность в опытах за период подращивания была в 3,5 раз выше (при добавлении в корма 10% гаприна) и в 2,7 раз выше (при добавлении 20% гаприна) по сравнению с контролем.

Данные по содержанию микроэлементов в теле молоди сибирского осетра обской популяции во время проведения экспериментальных работ по подращиванию в приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание микроэлементов в теле молоди сибирского осетра опытных и контрольной групп

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21.3>

Микроэлемент	В начале исследований, мг/кг	Опыт, мг/кг		Контроль, мг/кг
		АГ100	АГ200	
Cu	13,58±2,85	14,41±3,03	17,54±3,68	16,44±3,45
Fe	425,18±144,7	166,1±53,15	215,0±68,8	241,0±77,12
Mn	14,36±5,74	9,05±3,62	11,89±4,76	10,78±4,3
Zn	21,9±4,6	51,09±10,73	52,76±11,08	46,23±2,68
Co	0,02±0,001	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружен
Cr	2,92±0,71	1,56±0,47	1,67±0,49	1,41±0,41

Железо входит в состав дыхательного пигмента гемоглобина, связывающего и переносящего кислород, а также являющегося основной частью ферментов, катализирующих тканевое дыхание, и активно участвует в окислительно-восстановительных процессах [12, С. 36].

Потребность в железе неодинакова для разных видов рыб, колеблется в широких пределах – от 7 до 300 мг/кг сухого корма, составляя в среднем от 30 до 200 мг/кг [7, С. 237], [12, С. 36], [13, С. 186].

Наибольшее количество железа отмечено в компонентах животного происхождения, входящих в состав искусственных кормов, а также в продуктах микробиологического синтеза, к которым относится гаприн: от 300 до 700 мг/кг – в рыбной и мясокостной муке, в гаприне – до 640 мг/кг [7, С. 237].

Добавление железа в наноформе положительно влияет на рост подопытных рыб [1, С. 139].

В наших исследованиях содержание железа в гаприне составило 252,7 мг/кг. На начало эксперимента в теле ранней молоди сибирского осетра оно составляло $425,18 \pm 144,7$ мг/кг, снижаясь по мере роста молоди до $241,0 \pm 77,12$ мг/кг в контроле, а также до $166,1 \pm 53,15$ и $215,0 \pm 68,8$ мг/кг в вариантах опытов, и соответствовало потребностям рыб. Следовательно, при добавлении в корма гаприна содержание железа в опытных группах понизилось на 12,1% и 45,1% соответственно при добавлении 20 и 10% гаприна.

За период подращивания молоди содержание железа понизилось на 76,4% в контроле, на 156,0% при добавлении в корма 10% гаприна, а также на 97,8% при добавлении 20% гаприна. Аналогичная динамика содержания меди в теле форели по мере роста выявлена Г.Е. Степанцовой с соавторами [10, С. 6].

Медь относится к незаменимым элементам для жизнедеятельности организма, является составной частью ферментов, принимает участие в обмене веществ и регулирует большую часть реакций клеточного дыхания. Медь также способствует всасыванию железа, необходимого для синтеза гемоглобина: медь, как и железо, может поступать в организм рыб не только из пищи, но и из воды, и способна накапливаться в тканях, преимущественно в печени [7, С. 238], [12, С. 39].

Оптимальный уровень меди в кормах для рыб, по мнению разных исследователей, находится в пределах от 1 до 9 мг/кг [12, С. 39], [13, С. 188].

По данным И.Н. Остроумовой, в гаприне содержится высокая концентрация меди – 290-300 мг/кг [7, С. 239].

В наших исследованиях содержание меди в гаприне было еще выше и равнялось $426,5 \pm 17,1$ мг/кг, что в пересчете на добавление 10 и 20% гаприна к корму составляло 42,6 и 95,2 мг/кг.

В начале исследований содержание меди в теле ранней молоди сибирского осетра составляло $13,58 \pm 2,85$ мг/кг. В дальнейшем оно возросло и к концу исследований составило $16,44 \pm 3,45$ мг/кг в контроле и $14,41 \pm 3,03$ мг/кг при добавлении 10% гаприна и $17,54 \pm 3,68$ мг/кг при добавлении 20% гаприна. Следовательно, при добавлении в корма 10% гаприна содержание меди снизилось по сравнению с контролем на 14,1%, а при добавлении 20% гаприна, наоборот, повысилось на 6,7%. Эти величины превышали допустимый уровень меди в пищевых продуктах (10 мг/кг). Тем не менее молодь сибирского осетра имела высокий темп роста, не было отмечено отклонений от физиологической нормы [14]. Аналогичные изменения содержания меди в теле форели по мере роста отмечены Г.Е. Степанцовой с соавторами [10, С. 6].

За период подращивания молоди содержание меди повысилось на 21,1% в контроле, на 6,1% при добавлении в корма 10% гаприна, а также на 29,2% при добавлении 20% гаприна.

Марганец присутствует в составе ферментных систем, участвует в обмене белков, жиров и углеводов, кроветворении, окислительно-восстановительных процессах, влияет на фосфорно-кальциевый обмен и воспроизводительную функцию рыб. Депонируется марганец преимущественно в скелете. При его дефиците нарушается костеобразование, отмечается укорочение тела, происходит жировое перерождение печени [7, С. 243], [12, С. 36]. Основной путь при поступлении марганца в организм рыб – из пищи, но он может поступать и через жабры [7, С. 244].

Оптимальный уровень марганца в кормах для разных видов рыб колеблется от 2-3 (для канального сома) до 12-13 мг/кг (для форели, карпа и угря) [12, С. 36].

По данным И.Н. Остроумовой с соавторами, в гаприне содержится от 113 до 190 мг/кг марганца [6, С. 30]. Содержание марганца в гаприне, которым обогащали стартовые искусственные корма, составляло в среднем $66,8 \pm 2,7$ мг/кг.

В начале исследований количество марганца в теле ранней молоди сибирского осетра находилось на уровне $14,36 \pm 5,74$ мг/кг и понижалось к концу исследований до $10,78 \pm 4,3$ мг/кг в контроле, до $9,05 \pm 3,62$ мг/кг (при добавлении в корм 10% гаприна) и $11,89 \pm 4,76$ мг/кг (при добавлении 20% гаприна). Следовательно, добавление к корму гаприна в количестве 10-20% или 6,7-13,4 мг/кг марганца не сказалось существенно на его содержании в подращенной молоди сибирского осетра.

За период подращивания молоди содержание марганца понизилось на 33,2% в контроле, на 58,7% при добавлении в корма 10% гаприна, а также на 20,8% при добавлении 20% гаприна. Аналогичные изменения содержания марганца описаны Г.Е. Степанцовой с соавторами по мере роста форели [10, С. 6].

Цинк может поступать в организм рыб как с водой, так и с пищей, причем при высоких концентрациях цинка в воде первый путь может доминировать [7, С. 247].

Цинк участвует в метаболизме нуклеиновых кислот, простогландинов, белков, жиров и углеводов. Он влияет на рост рыб, их развитие и размножение, функционирование органов зрения, участвует в кроветворении и образовании костей [7, С. 246], [9, С. 48], [12, С. 35].

Потребность в цинке в кормах для рыб находится в среднем в пределах от 15 до 40 мг/кг, но в отдельных работах приводятся более высокие показатели [7, С. 247], [12, С. 35], [13, С. 192].

Включение в корма для рыб цинка в количестве от 15 до 600 мг/кг не приводило к отклонениям в здоровье, росте и усвояемости пищи молодью форели. При этом для карпа цинк в количестве 294 мг/кг корма понижал темп роста [7, С. 247].

По данным И.Н. Остроумовой, в гаприне содержится от 184 до 270 мг/кг цинка [7, С. 249]. В составе гаприна, применяемого в наших исследованиях, содержалось $110,8 \pm 7,7$ мг/кг цинка.

Перед началом исследований в теле ранней молоди сибирского осетра концентрация цинка составляла $21,9 \pm 4,6$ мг/кг. По мере роста молоди этот показатель увеличился и составил в контроле $46,23 \pm 2,68$ мг/кг, в опытах – $51,09 \pm 10,73$ мг/кг (при добавлении гаприна в количестве 10%) и $52,76 \pm 11,08$ мг/кг (при 20% гаприна). Следовательно, добавление к корму гаприна повысило концентрацию цинка в теле опытных рыб на 10,5% и 14,1% соответственно при добавлении 10 и 20 % гаприна.

За период подращивания молоди содержание цинка повысилось на 111,1% в контроле, на 133,3% при добавлении в корма 10% гаприна, а также на 140,9% при добавлении 20% гаприна.

Хром участвует в обмене липидов и углеводов в организме рыб. Соли хрома усиливают утилизацию глюкозы, снижая ее образование из аминокислот и жирных кислот [13, С. 201]. При выращивании тилляпии на диете с глюкозой (40% рациона) добавление в корм хрома в количестве 2 мг/кг повышало скорость роста, содержание протеина и энергии в теле, а также гликогена в печени. При включении трехвалентного хрома (вместе с витаминами С и группы В) корма с повышенным содержанием углеводов использовались более эффективно. Хром в корма вводили из расчета 5 мг/кг [7, С. 258].

Потребности в хrome в рыбных кормах не установлены [7, С. 258].

Концентрация хрома в гаприне, используемого в наших исследованиях, составляла $13,1 \pm 0,5$ мг/кг. Содержание хрома в теле ранней молоди сибирского осетра перед началом исследований находилась на уровне $2,92 \pm 0,71$ мг/кг. К завершению процесса подращивания значение этого показателя снизилось до $1,41 \pm 0,41$ мг/кг в контроле; $1,56 \pm 0,47$ мг/кг при добавлении в корма 10% гаприна и до $1,67 \pm 0,49$ мг/кг при включении в рацион рыб 20% гаприна. Следовательно, добавление к корму гаприна повысило концентрацию хрома в теле опытных рыб на 10,6 % и 18,4 % соответственно при добавлении 10 и 20% гаприна.

За период подращивания молоди содержание хрома понизилось на 107,1% в контроле, на 87,2% при добавлении в корма 10% гаприна, а также на 74,9% при добавлении 20% гаприна.

Кобальт также может поступать в организм рыб из воды и пищи. В воде он содержится обычно в минимальном количестве. Кобальт входит в состав витамина В₁₂, который регулирует образование красных клеток крови, принимает участие в синтезе гемоглобина и мышечных белков, в работе ферментов и гормонов, следовательно, влияет на белковый, жировой и углеводный обмен [7, С. 251], [9, С. 48], [12, С. 37], [13, С. 197-198].

Кобальт, как и железо, в наноформе повышает темп роста подопытных рыб [1, С. 141].

Минимальные потребности рыб в кобальте находятся в пределах от 0,05 до 1,2 мг/кг корма для разных видов рыб [7, С. 252], [12, С. 37].

Содержание кобальта в гаприне составляет до 3,3 мг/кг [7, С. 253]. В наших исследованиях этот показатель равнялся $3,5 \pm 0,1$ мг/кг.

В начале экспериментальных работ концентрация кобальта в теле ранней молоди сибирского осетра равнялась $0,02 \pm 0,001$ мг/кг. В конце исследований кобальт в теле подросшей молоди ни в опыте, ни в контроле не был обнаружен.

Заключение

Проведенные исследования показали, что добавление в стартовый искусственный корм гаприна позволило повысить более чем в два раза выживаемость молоди сибирского осетра обской популяции и существенно ускорить темп ее роста. При этом было установлено, что к концу экспериментальных работ содержание меди и цинка в теле молоди возрастало. Содержание меди увеличивалось в ряду: начало эксперимента → добавление в корма 10% гаприна → контроль → добавление 20% гаприна. Содержание цинка возрастало в ряду: начало эксперимента → контроль → добавление в корма 10% гаприна → добавление 20% гаприна.

Содержание железа, марганца, хрома и кобальта в теле молоди сибирского осетра к концу эксперимента понизилось. Содержание железа снижалось в ряду: начало эксперимента ← контроль ← добавление в корм 10% гаприна ← добавление 20% гаприна. Содержание марганца уменьшалось в ряду: начало эксперимента ← добавление в корма 20% гаприна ← контроль ← добавление 10% гаприна. Содержание хрома понижалось в ряду: начало эксперимента ← добавление в корм 20% гаприна ← добавление в корм 10% гаприна ← контроль. Кобальт в теле молоди сибирского осетра к концу эксперимента не был обнаружен.

При добавлении в корм 20% гаприна содержание меди, цинка, марганца, хрома и кобальта в теле молоди сибирского осетра было выше, чем в контроле. Содержание железа было выше в контроле.

Хорошие рыбоводные результаты (высокие выживаемость и темп роста) свидетельствуют о том, что добавление микроэлементов при обогащении гаприном стартовых искусственных кормов соответствует пищевым потребностям молоди сибирского осетра.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Касьянов Г.И., Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21.4>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Kasyanov G.I., Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.21.4>

Список литературы / References

1. Аринжанов А.Е. Использование экструдированных кормов с добавлением наночастиц металлов в кормлении рыб / А.Е. Аринжанов, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Киякова и др. // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2012. — № 10(146). — с. 138-142.
2. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов — Введ. 1996-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2010. — 12 с.

3. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия — Введ. 2002-01-01. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002.— 11 с.
4. Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии — Введ. 2015-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2014.— 21 с.
5. Зенкович П.А. Результаты кормления молоди сибирского осетра искусственными кормами, обогащенными микробным белком (гаприном) и жирными кислотами / П.А. Зенкович, М.А. Корентович // Развитие аграрной науки и практики: состояние, проблемы и перспективы: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 115-летию агрономического факультета Донского ГАУ. — Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2022. — с. 207-214.
6. Остроумова И.Н.. Эффективность использования гаприна в рационах карпа разного возраста / И.Н. Остроумова, Д.С. Аршавский, В.К. Калкун // Сборник научных трудов ГосНИОРХ: Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства; под ред. Остроумова И.Н. — Вып. 306. — Ленинград: ГосНИОРХ, 1991. — с. 27-46.
7. Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб / И.Н. Остроумова — Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2001. — 372 с.
8. Подоскина Т.А. Влияние некоторых биологически активных веществ на утилизацию форелью корма с повышенным содержанием углеводов / Т.А. Подоскина, А.Г. Подоскин // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. — 1991. — № 62. — с. 64-68.
9. Скляр В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я. Скляр — Москва: Издательство ВНИРО, 2008. — 151 с.
10. Степанцова Г.Е. Изучение влияния микроэлементов на физиолого-биохимические показатели радужной форели / Г.Е. Степанцова, Е.В. Нижникова, Н.П. Нефедова и др. // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2018. — Т. 4. — № 2. — с. 1-8.
11. Хохлова А.И. Методы определения тяжелых металлов в продуктах питания: методические указания / А.И. Хохлова — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2006. — 32 с.
12. Щербина М.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин — Москва: Издательство ВНИРО, 2006. — 361 с.
13. Watanabe T. Trace Minerals in Fish Nutrition / T. Watanabe, V. Kiron, S. Satoh // Aquaculture. — 1997. — Vol. 151. — № 1-4. — p. 185-207.
14. Zenkovich P.A. Experience of Using Dry Biomass of Methanotrophic Bacteria in the Enrichment of Artificial Feeds for Siberian Sturgeon Juveniles of the Ob Population / P.A. Zenkovich, M.A. Korentovich, T.O. Shabalina et al. — Issue 949. — Bristol: IOP Publishing Ltd, 2022. — p. 1-5. — DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012136.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Arinzhanov A.E. Ispol'zovanie ekstrudirovannykh kormov s dobavleniem nanochastits metallov v kormlenii ryb [The Use of Extruded Feed with the Addition of Metal Nanoparticles in Fish Feeding] / A.E. Arinzhanov, E.P. Miroshnikova, Ju.V. Kiljakova et al. // Bulletin of Orenburg State University. — 2012. — № 10(146). — p. 138-142. [in Russian]
2. Syr'e i produkty pischevye. Podgotovka prob. Mineralizatsija dlja opredelenija soderzhanija toksichnykh elementov [Raw Materials and Food Products. Sample Preparation Mineralization to Determine the Content of Toxic Elements] — Introduced 1996-01-01. — Moskva: Standartinform, 2010.— 12 p. [in Russian]
3. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Atomno-absorbtsionnyj metod opredelenija soderzhanija medi, svintsia, tsinka i kadmija [Feed, Compound Feed, Compound Feed Raw Materials. Atomic Absorption Method for Determining the Content of Copper, Lead, Zinc and Cadmium] — Introduced 2002-01-01. — Minsk: Interstate Council for Standardisation, Metrology and Certification, 2002.— 11 p. [in Russian]
4. Korma, kombikorma. Opredelenie soderzhanija kal'tsija, medi, zheleza, magnija, margantsa, kalija, natrija i tsinka metodom atomno-absorbtsionnoj spektrometrii [Feed, Compound Feed. Determination of Calcium, Copper, Iron, Magnesium, Manganese, Potassium, Sodium and Zinc Content by Atomic Absorption Spectrometry] — Introduced 2015-07-01. — Moskva: Standartinform, 2014.— 21 p. [in Russian]
5. Zenkovich P.A. Rezul'taty kormlenija molodi sibirskogo osetra iskusstvennymi kormami, obogaschennymi mikrobnym belkom (gaprinom) i zhirnymi kislotami [Results of Feeding Juvenile Siberian Sturgeon with Artificial Feed Enriched with Microbial Protein (Haprin) and Fatty Acids] / P.A. Zenkovich, M.A. Korentovich // Razvitie agrarnoj nauki i praktiki: sostoyanie, problemy i perspektivy [Development of Agricultural Science and Practice: State of the Art, Problems and Prospects]: materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists dedicated to the 115th anniversary of the Faculty of Agronomy of Don SAU. — Persianovskij: Don State Agrarian University, 2022. — p. 207-214. [in Russian]
6. Ostroumova I.N.. Effektivnost' ispol'zovanija gaprina v ratsionah karpa raznogo vozrasta [Efficiency of Using Haprin in Diets of Carp of Different Ages] / I.N. Ostroumova, D.S. Arshavskij, V.K. Kalkun // Collection of scientific papers of GosNIORKh: Protein Products of Microbiosynthesis in Fish Feeding and Other Issues of Intensive Fish Farming; edited by Ostroumova I.N. — Issue 306. — Leningrad: GosNIORH, 1991. — p. 27-46. [in Russian]
7. Ostroumova I.N. Biologicheskie osnovy kormlenija ryb [Biological Basis of Fish Feeding] / I.N. Ostroumova — Sankt-Peterburg: GosNIORH, 2001. — 372 p. [in Russian]
8. Podoskina T.A. Vlijanie nekotorykh biologicheski aktivnykh veschestv na utilizatsiju forel'ju korma s povyshennym soderzhanijem uglevodov [The Influence of Some Biologically Active Substances on the Utilization of Feed with a High

Carbohydrate Content by Trout] / T.A. Podoskina, A.G. Podoskin // Collection of scientific works of VNIIPRH. — 1991. — № 62. — p. 64-68. [in Russian]

9. Skljarov V.Ja. Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture [Feed and Feeding of Fish in Aquaculture] / V.Ja. Skljarov — Moscow: Publishing House of VNIRO, 2008. — 151 p. [in Russian]

10. Stepantsova G.E. Izuchenie vlijanija mikroelementov na fiziologo-biohimicheskie pokazateli raduzhnoj foreli [Study of the Influence of Microelements on the Physiological and Biochemical Parameters of Rainbow Trout] / G.E. Stepantsova, E.V. Nizhnikova, N.P. Nefedova et al. // Bulletin of Science and Education of North-West Russia. — 2018. — Vol. 4. — № 2. — p. 1-8. [in Russian]

11. Hohlova A.I. Metody opredelenija tjazhelyh metallov v produktah pitaniya: metodicheskie ukazaniya [Methods for Determining Heavy Metals in Food: guidelines] / A.I. Hohlova — Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2006. — 32 p. [in Russian]

12. Scherbina M.A. Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture [Feeding Fish in Freshwater Aquaculture] / M.A. Scherbina, E.A. Gamygin — Moscow: Publishing House of VNIRO, 2006. — 361 p. [in Russian]

13. Watanabe T. Trace Minerals in Fish Nutrition / T. Watanabe, V. Kiron, S. Satoh // Aquaculture. — 1997. — Vol. 151. — № 1-4. — p. 185-207.

14. Zenkovich P.A. Experience of Using Dry Biomass of Methanotrophic Bacteria in the Enrichment of Artificial Feeds for Siberian Sturgeon Juveniles of the Ob Population / P.A. Zenkovich, M.A. Korentovich, T.O. Shabalina et al. — Issue 949. — Bristol: IOP Publishing Ltd, 2022. — p. 1-5. — DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012136.