

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2026. № 3 (84). С. 71–81.
Buryat Agrarian Journal. 2026;3(84):71–81.

Научная статья

УДК 639.3; 579.64

doi: 10.34655/bgsha.2026.84.3.008

Оценка влияния консорциумов видоспецифичных пробиотических штаммов на рост и показатели гомеостаза стерляди сибирской

А.И. Михайлов¹ А.И., С.Н. Магер^{1,2}, И.В. Морузи², Г.В. Калмыкова³, Е.В. Пищенко²

¹Сибирский федеральный центр агробиотехнологий РАН, р-п Краснообск, Россия

²Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

³ООО «Микопро», р-п Кольцово, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Михайлов, mikhaylovai_98@vk.com

Аннотация. В работе представлены результаты исследований пробиотического потенциала консорциумов штаммов микроорганизмов, выведенных из естественной микробиоты стерляди (*Acipenser ruthenus*). Объектом исследования послужили консорциумы штаммов, первый имел в составе четыре штамма *Bacillus licheniformis*, *Oceanibacillus profundus* и два штамма *Bacillus siamensis*, в состав второго консорциума входят штаммы *Lactobacillus sp.* и *Bacillus wiedmannii*. Исследования проведены путем испытания на группах-аналогах в условиях УЗВ в течение 90 дней. Степень влияния оценивалась по таким показателям, как средняя масса, абсолютный, среднесуточный, относительный прирост, коэффициент массонакопления, относительная скорость роста, количество форменных элементов крови, гемоглобин, лейкограмма, общий белок в сыворотке крови, концентрация аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы. Норма кормления рассчитывалась из рекомендаций производителя корма, препараты с консорциумами наносились на корм методом напыления. Взвешивания производились раз в 5 дней. Нами отмечено влияние консорциумов на относительный прирост стерляди. Группа, получавшая первый консорциум, превышает показатели контрольной на 4,1%, а второй – на 7,4% от показателей контрольной группы. Концентрация лейкоцитов превышала показатели контроля на 33 % в обеих опытных группах. Разница в концентрации гемоглобина в сравнении с контролем составила у особей, получавших первый консорциум, 11%, а второй – 6%. Разница в доле лимфоцитов между контрольной и опытной группой, получавшей второй консорциум, составила 24,2%. Показатели общего белка в контроле превышают таковые по сравнению с рыбой, получавшей первый консорциум на 6,9, и на 9,8% по сравнению с группой, получавшей второй консорциум. По концентрации АлТ наибольшие значения наблюдались в опытной группе 1 и превышали показатели контроля на 37%.

Ключевые слова: пробиотические препараты, аквакультура, стерлядь, микрофлора, рыбное хозяйство.

Финансирование: грант РНФ № 25-26-00614 «Изучение микробиома осетровых, разработка нового видоспецифичного пробиотического препарата и внедрение его в производство».

Assessment of the influence of consortia of species-specific probiotic strains on growth and homeostasis indicators of sterlet sturgeon

Alexander I. Mikhailov¹, Sergey N. Mager^{1,2}, Irina V. Moruzi², Galina V. Kalmykova³, Elena V. Pishchenko²

¹Siberian Federal Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

²Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

³LLC "Mikopro", Koltsovo, Russia

Corresponding author: Alexander I. Mikhailov, mikhaylovai_98@vk.com

Abstract. The article deals with the results of studies on the probiotic potential of consortia of microorganisms strains derived from the natural microbiota of sterlet (*Acipenser ruthenus*). Consortia strains were the object of the research: the first one consisted of four strains of *Bacillus licheniformis*, *Oceanibacillus profundus* and two strains of *Bacillus siamensis*, while the second consortium included strains of *Lactobacillus sp.* and *Bacillus wiedmannii*. The studies were conducted for 90 days by testing on analog groups under RAS conditions. The degree of influence was assessed by such indicators as: average weight, absolute, average daily, relative growth, mass accumulation coefficient, relative growth rate, number of blood cells, hemoglobin, leucogram, total blood serum protein, concentration of alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase. The feeding standard was calculated based on the manufacturer's recommendations; preparations with consortia were applied to feed by spraying. Weighings were carried out every 5 days. According to the experimental results, the application of consortia had a noticeable impact on the growth intensity of sterlet, as evidenced by relative growth indicators. The group receiving the first consortium exceeded the control indicators by 4.1%, and the second by 7.4% compared to the control group. The concentration of leukocytes exceeded the control indicators by 33% in both experimental groups. The difference in hemoglobin concentration compared to the control group was 11% for individuals receiving the first consortium and 6% for the second one. The difference in the proportion of lymphocytes between the control and experimental group receiving the second consortium was 24.2%. Total protein levels in the control group exceeded those of fish receiving the first consortium by 6.9% and the second consortium by 9.8%. The highest level of ALT concentration was observed in the experimental group 1 and exceeded the control indicators by 37%.

Keywords: probiotic agents, aquaculture, sterlet sturgeon, microflora, fish farming.

Funding. Grant of Russian Science Foundation No 25-26-00614. "Study of the sturgeon microbiome, development of a new species-specific probiotic preparation and its implementation in production."

Введение. В современной аквакультуре одним из перспективных направлений является замена антибиотиков, красителей и других препаратов, применяемых для лечения и профилактики заболеваний у рыб на менее радикальные, такие как пробиотики, фитобиотики, пребиотики, а также на вакцины, подразделяемые на «убитые», ДНК-вакцины, рекомбинантные векторные, синтетические пептиды, аттенуированные, генетически модифицированные и субъединичные вакцины [1]. Выбор такого вектора связан не

только с желанием получать наибольшую продуктивность, но и со стремлением обезопасить потребителя и объекты аквакультуры. Даже при краткосрочном применении антибиотиков существует риск возникновения дисбактериоза [2], также при их использовании остается вероятность появления устойчивых штаммов патогенов, при этом нарушается баланс кишечной микрофлоры, что может спровоцировать появление микробного стресса и как следствие – снижение продуктивности. Медленное и систематичес-

кое накопление антибиотиков в сельскохозяйственных объектах и водной среде несет риски для экологии в целом и здоровья человека в частности [1]. Пробиотики и пребиотики являются одним из вариантов решения этих проблем.

Пробиотики способствуют увеличению конверсии корма, стимулируют естественный иммунитет, изменяют микробный метаболизм и способствуют нормализации показателей гомеостаза и крови. Введение их в рацион благоприятствуют продуктивности выращиваемой рыбы, повышению выживаемости и стрессоустойчивости.

Определение и получение видоспецифичных потенциально полезных штаммов – самая важная часть при создании пробиотических препаратов. Множество факторов влияют на видовое разнообразие и соотношение микроорганизмов в кишечной микрофлоре рыб: видоспецифичность хозяина, пищевое поведение, условия окружающей среды и рацион. Например, для пресноводных рыб характерно наличие *Proteobacteria*, для морских же – *Firmicutes* и *Fusobacteria* [3]. В микробиоме кишечника рыбы-клоуна характерным представителем является *Firmicutes*, а для японской малоротой корюшки (*Hypomesus nipponensis*), большеротого окуня (*Micropterus salmoides*) и синежаберного солнечника (*Lepomis macrochirus*) наиболее распространены типы *Proteobacteria* и *Fusobacteria* [4, 5, 6]. При выращивании пёстрого толстолобика (*Aristichthys nobilis*) на живом корме в кишечнике преобладают *Bacteroidetes*, *Fusobacteria*, *Firmicutes* и *Proteobacteria*, но при небольшом добавлении в рацион комбикормов доминантами в микрофлоре станут типы *Proteobacteria* и *Fusobacteria* [7].

Наибольшую популярность у исследователей в вопросах влияния пробиотических препаратов на аквакультурные виды рыб имеют уже разработанные препараты, работы же с выведенными штаммами конкретно под задачи рыбного хозяйства из естественной микробиоты рыб немногочисленны [8, 9, 10, 11, 12]. Наи-

более многочисленны исследования препаратов, основанных на *Enterococcus sp.*, *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, которые классифицированы как основные пробиотики [13, 14], *Carnobacterium sp.*, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и др. Современные работы разнятся как по выбранным методам исследования, так и по результатам [15, 16, 17, 18, 19].

Цель исследования – анализ пробиотического потенциала консорциумов штаммов микроорганизмов, выделенных из естественной микрофлоры стерляди сибирской.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в Исследовательском центре аквакультуры Сибирского государственного университета инженерии и биотехнологии. Молодь стерляди сибирской *Acipenser ruthenus marsiglii* (Brandt, 1833) содержалась в системе УЗВ в бассейнах объемом 600 л, с температурой воды 18-22°C, содержанием кислорода 8-10 мг/л, нормы посадки (90 особей на бассейн) соответствовали рыбобоводным нормам для данного вида.

Объектом исследования послужили консорциумы штаммов микроорганизмов, выведенные из естественной микробиоты стерляди. Для разработки пробиотического препарата сбор материала кишечной микрофлоры проводился у 40 здоровых и больных тимпанией особей. Для определения видовой принадлежности была проведена идентификация выделенных бактерий с использованием культурально-морфологических и молекулярных методов. После проведения тестирования по ферментативной активности (протеолитическая, амилазная, липазная) и антимикробной активности против патогенных микроорганизмов были выбраны бактерии, обладающие положительным потенциалом для создания консорциумов пробиотических штаммов для осетровых рыб. Из их числа составлены два консорциума, которые подвергли изучению. Первый имел в составе четыре штамма *Bacillus licheniformis*, *Oceanibacillus profundus* и два штамма *Bacillus siamensis*. В состав второго консорциу-

ма входят штаммы *Lactobacillus* sp. и *Bacillus wiedmannii*.

Для биотестирования было отобрано три группы молоди стерляди по девянос-

то особей в каждой, две из которых опытные, одна контрольная, сформированные по принципу аналогов.

Таблица 1 – Схема эксперимента

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
n	90	90	90
Условия кормления	основной рацион	ОР+ четыре штамма <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Oceanibacillus profundus</i> и два штамма <i>Bacillus siamensis</i> (1×10^6)	ОР+ <i>Lactobacillus</i> sp. и <i>Bacillus wiedmannii</i> (1×10^6)
Продолжительность	90 дней		

Исследуемые штаммы наносились на корм методом напыления с титром 1×10^6 .

Взвешивание рыбы производилось раз в пять дней, продолжительность эксперимента – 90 дней.

Для оценки влияния пробиотиков применяли рыбоводно-биологические показатели согласно общепринятым методикам.

Абсолютный и среднесуточный прирост, применяемые для оценки увеличения живой массы рыбы, за весь период исследования и в среднем за сутки рассчитывали по И.Ф. Правдину, 1966.

Относительный прирост: $O = (m_k - m_0) / m_0 * 100$, где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г.

Относительная скорость роста:

$$B = \frac{m_k - m_0}{t * 0,5 * (m_k + m_0)} * 100,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г; t – продолжительность опыта, сут.

Коэффициент массонакопления

$K_m = ((m_k^{1/3} - m_0^{1/3}) * 3) / t$, где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная

масса молоди, г; t – продолжительность опыта, сут.

Забор крови был проведен в конце эксперимента у пяти особей с группы. Гематологический анализ проведен с использованием «Атласа клеток крови рыб»¹.

Определение уровня гемоглобина проводили по методу Салли². Определение количества форменных элементов крови производилось в камере Горяева³.

Общий белок, а также активность ферментов в сыворотке, измерялись фотометрическим методом с помощью наборов реактивов производства АО «Вектор-Бест».

Статистическая обработка данных проведена с использованием программ Microsoft Office Excel 2021 и RStudio 2024.09.01+394. В обработке использовались тест Шапиро-Уилка для проверки нормальности распределения выборок, Критерий Уилкоксона и критерий Стьюдента для проверки выборок на однородность.

Результаты исследований и обсуждение. Анализируя показатели роста и развития стерляди сибирской (табл. 2, 3), полученные за время проведения

¹ Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб: Сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб. Москва: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 200 с.

² Голодец Г.Г. Лабораторный практикум по физиологии рыб. Москва: Пищепромиздат, 1955. С. 5-10.

³ Методические указания по проведению гематологического обследования рыб. Минсельхозпрод России. Департамент ветеринарии. Москва: Стандартинформ, 1999. 13 с.

эксперимента, следует заметить тенденцию к увеличению средней массы, среднесуточного и относительного прироста рыб в опытных группах, получавших кон-

сорциумы пробиотических штаммов. Однако статистически значимых различий не обнаружено.

Таблица 2 – Динамика показателей живой массы стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Период наблюдения	Масса, г		
	контроль	*опыт 1	опыт 2
Начало эксперимента	0,334± 0,01	0,327± 0,01	0,315± 0,01
1-й месяц	2,444± 0,18	2,664± 0,14	2,223± 0,16
2-й месяц	12,173 ± 0,63	12,839 ± 0,45	11,847 ± 0,55
3-й месяц	47,907 ± 2,31	48,798 ± 1,56	48,495 ± 2,08

Таблица 3 – Показатели роста и развития стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Показатели	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Общее количество, шт.	90	90	90
Выживаемость, шт.	43	48	40
%	47,7	53,3	44,4
Средняя масса рыбы, г:			
исходная	0,334± 0,01	0,327± 0,01	0,315± 0,01
конечная	47,907 ± 2,31	48,798 ± 1,56	48,495 ± 2,08
Абсолютный прирост, г/шт	47,57	48,47	48,18
Среднесуточный прирост, г/шт	0,53	0,54	0,54
Коэффициент массонакопления	0,098	0,099	0,099
Относительный прирост, %	14243,41	14822,94	15295,24
Общая ихтиомасса, г,			
исходная	30,07	29,41	28,31
конечная	2059,9	2342,3	1939,8

Подобные результаты встречаются и в других экспериментах. Так, Пронина Г.И. при исследовании эффективности пробиотических добавок «Субтилис-С» и «Энзимоспорин» указывает на сходную картину. Авторы приходят к выводу об эффективности пробиотических препаратов, исходя из комплексной оценки показателей относительной скорости роста рыб и гематологических исследований, показавших положительное влияние добавок на иммунные свойства крови [15, 16].

В наших исследованиях показано, что относительный прирост в течение всего периода наблюдений был выше у стерля-

ди в опытных группах, чем в контрольной. Группа опыт 1 превышала показатели контрольной на 4,1%, а опытная группа 2 – на 7,4%. Наиболее заметна разница показателей относительного прироста и относительной скорости роста в течение первого месяца исследований. Максимальная разница за этот период наблюдается между контрольной и опытной группой 1 и составляет 4,26% в относительном приросте и 6,17% в относительной скорости роста (см. табл. 4,5). Максимально разница между контрольными взвешиваниями составила 17,15% и в относительном приросте и 2,14% в относи-

тельной скорости роста (за период с 16.08 по 21.08) между контролем и опытной группой 2. Однако в последующем показатели выравниваются. В последний месяц эксперимента максимальная разница в относительном приросте между контролем и опытными группами 4,26% в

пользу опытной группы 2, максимальная разница в относительной скорости роста также обнаружена между контролем и опытной группы 2 с преимуществом у последней – 0,87%. Данные по относительному приросту и относительной скорости роста имели неравномерный характер.

Таблица 4 – Относительный прирост и скорость роста стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Период наблюдений	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Относительный прирост, %:			
1-й месяц	37,5 ± 5,06	39,1 ± 4,30	37,2 ± 5,52
2-й месяц	30,7 ± 1,68	30,1 ± 2,22	32,2 ± 1,89
3-й месяц	25,7 ± 1,77	25 ± 1,77	26,5 ± 1,88
Относительная скорость роста, %			
1-й месяц	6,81 ± 0,76	7,23 ± 0,75	6,72 ± 0,81
2-й месяц	5,16 ± 0,26	5,06 ± 0,35	5,37 ± 0,25
3-й месяц	5,07 ± 0,28	4,93 ± 0,25	5,22 ± 0,27

Незначительное влияние консорциумов на рост может быть следствием эффекта трансплантации генетически чужеродного материала или малой концентрации препарата. Известно, что до 70% пробиотических бактерий погибает в верхних отделах желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных [20].

Есть несколько путей для предотвращения нежелательной гибели внесенных в организм животных бактерий: применение ударных доз пробиотических препаратов, совместного применения пробиотиков и пребиотиков и микрокапсуляция, позволяющие добиться условий для активации собственной микробиоты или точечного воздействия на нужный отдел ЖКТ.

Кроме того, раскрытие потенциала пробиотика может достигаться путем совместного применения с другими добавками, такими как лизаты, фитолизаты фитобиотики, сорбенты, ферментные до-

бавки, пребиотики и др, способствующие нейтрализации условно-патогенной микрофлоры и создающие условия для закрепления введенных полезных микроорганизмов [21].

При изучении количества основных форменных элементов и гемоглобина у животных опытных и контрольной групп нами установлена тенденция увеличения лейкоцитов и гемоглобина в опытных группах, в сравнении с контролем (табл. 6). По гемоглобину в сравнении контролем разница составляла с опытной группой 1 – 11%, а с опытной группой – 2 – 6%.

При этом установлено, что концентрация лейкоцитов превышала показатели контроля на 33 %.

Содержание лейкоцитов и гемоглобина в крови находится на высоком уровне и может свидетельствовать об ускорении метаболических процессов в организме рыб после скармливания пробиотических препаратов.

Таблица 6 – Основные форменные элементы и гемоглобин крови стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Количество: эритроцитов, $10^6/\text{мкл}$	$0,5025 \pm 0,12$	$0,431 \pm 0,14$	$0,449 \pm 0,09$
лейкоцитов, $10^3/\text{мкл}$	$4,6875 \pm 1,69$	$6,25 \pm 2,58$	$6,25 \pm 1,01$
Гемоглобин, г/л	$39,75 \pm 0,48$	$44,2 \pm 0,63$	$42,2 \pm 2,08$

Анализ лейкограммы (табл. 7) свидетельствует о высоком содержании лимфоцитов у особей, получавших с кормом

консорциум 2, за счет снижения доли эозинофилов и палочкоядерных нейтрофилов.

Таблица 7 – Лейкограмма стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Показатели	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Лимфоциты, %	$60,65 \pm 4,87$	$52,41 \pm 3,44$	$75,35 \pm 6,69$
Эозинофилы, %	$22,26 \pm 5,82$	$26,92 \pm 4,66$	$14,67 \pm 6,76$
Палочкоядерный нейтрофилы, %	$3,11 \pm 0,74$	$6,70 \pm 3,14$	$1,03 \pm 0,65$
Сегментоядерные нейтрофилы, %	$6,76 \pm 2,36$	$4,90 \pm 2,56$	$5,19 \pm 0,81$
Моноциты, %	$6,70 \pm 2,67$	$8,32 \pm 2,4$	$3,76 \pm 0,6$
Базофилы, %	$0,52 \pm 0,31$	$0,74 \pm 0,46$	-

Такое распределение говорит о повышенной иммунной активности за счет активации первой линии защиты против инфекций [22]. В опытной группе 1 содержание нейтрофилов заметно возросло в сравнении с контролем, что свидетельствует о реакции иммунитета на внесение консорциума и возможном его отторжении организмом рыб. Большая доля в лейкоформуле рыб опытной группы 1 моноцитов, нейтрофилов и эозинофилов также может свидетельствовать о плохом физиологическом состоянии [23], а малая

их доля в группе опыт 2 возможно вызвана снижением уровня бактерицидного заражения [24]. Разница в доле лимфоцитов между контрольной и опытной группой 2 составила 24,2%. Такое распределение данных свидетельствует о положительном влиянии второго консорциума на иммунитет стерляди.

Показатели общего белка в контроле превышают таковые в опытных группах на 6,9, по сравнению с группой опыт 1, на 9,8%, по сравнению с группой опыт 2 (табл. 8).

Таблица 8 – Биохимические показатели крови стерляди сибирской опытных и контрольной групп

Показатели	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Общий белок, г/л	$27,51 \pm 4$	$25,61 \pm 2,2$	$24,82 \pm 1,3$
Аланинаминотрансфераза (АлТ), ед./л	$4,28 \pm 0,5$	$5,87 \pm 0,5$	$4,70 \pm 0,5$
Аспартатаминотрансфераза (АсТ), ед./л	$22,27 \pm 0,5$	$23,47 \pm 0,5$	$18,80 \pm 0,5$
Коэффициент де Ритиса (АСТ/АЛТ)	5,20	3,99	4,0

Повышенная концентрация белка в сыворотке крови может свидетельствовать о повышении белкового обмена и более благоприятном состоянии конт-

рольной группы [11]. По концентрации АлТ наибольшие значения наблюдались в опытной группе 1 и превышали показатели контроля на 37%. Повышенное содер-

жение АлТ, по некоторым сведениям, коррелирует с продуктивностью роста [25]. Изучение коэффициента де Ритиса (АСТ/АЛТ) (см. табл. 8) указывает на благополучное состояние иммунной системы рыб в группах, получавших пробиотические препараты.

Выводы: 1. Установлена тенденция к увеличению количества лейкоцитов и гемоглобина в опытных группах, в сравнении с контролем. В лейкограмме опытной группы 2 существует тенденция к увеличению доли лимфоцитов и снижение доли эозинофилов и палочкоядерных нейтрофилов, что свидетельствует о положительном влиянии второго консорциума на показатели гомеостаза стерляди.

2. Содержание общего белка в крови рыб в контроле превышают таковые в

опытных группах. По концентрации АлТ наибольшие значения наблюдались в опытной группе 1 и превышали показатели контроля на 37%. Биохимические показатели подтверждают позитивное влияние изученных консорциумов на обменные процессы исследуемых рыб. Коэффициент де Ритиса (АСТ/АЛТ) указывает на благополучное состояние иммунной системы рыб в группах, получавших пробиотические препараты.

3. Установлено положительное влияние созданных нами пробиотических консорциумов из штаммов микробиома кишечника стерляди сибирской на относительную скорость роста и прирост молоди, что говорит о перспективе дальнейших работ над составом пробиотических препаратов.

Список источников

1. Дун С. Обеспечение устойчивого развития аквакультуры путем повышения естественного иммунитета культивируемых рыб // XXV юбилейные Царскосельские чтения: материалы международной научной конференции (20–21 апреля 2021, Санкт-Петербург). Санкт-Петербург: Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, 2021. С. 77-82. DOI: 10.21443/3034-1434-2024-2-3-64-82. EDN: DVZILK
2. Челядникова Ю. А., Мусатов Г. А. Влияние антибиотиков на слизистую оболочку и симбиотические организмы кишечника // Современные проблемы естественных наук и медицины: Сборник статей Всероссийской научной конференции (18–20 мая 2020, Йошкар-Ола). Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2020. С. 517-520. EDN: GHXKXI.
3. Host habitat is the major determinant of the gut microbiome of fish / P.S. Kim, N.R. Shin, J.B. Lee [et al.] // Microbiome. 2021. Vol. 9. No 1, Art. 166. DOI: 10.1186/s40168-021-01113-x.
4. The gut microbiome and aquatic toxicology: An emerging concept for environmental health / O. Adamovsky, A.N. Buerger, A.M. Wormington [et al.] // Environmental toxicology and chemistry. 2018. Vol. 37. No11. Pp. 2758–2775. DOI: doi.org/10.1002/etc.4249.
5. Park J., Kim EB. Insights into the Gut and Skin Microbiome of Freshwater Fish, Smelt (*Hypomesus nipponensis*) // Current microbiology. 2021. Vol. 78. No 5. Pp. 1798–1806. DOI: 10.1007/s00284-021-02440-w.
6. Gut Microbiome as a Potential Biomarker in Fish: Dietary Exposure to Petroleum Hydrocarbons and Metals, Metabolic Functions and Cytokine Expression in Juvenile Lates calcarifer / F. Spilisbury, M.J. Foyals, A. Tay, MM. Gagnon // Frontiers in Microbiology. 2022. vol.13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.827371.
7. Современные исследования по изучению микробиома кишечника рыб / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 198-213. DOI: 10.33284/2658-3135-106-2-198. EDN: NFDS DH.
8. Хамад Х.А. К вопросу эффективного использования пробиотиков в аквакультуре // Балтийский морской форум : материалы X Международного Балтийского морского форума : в 7 т. Калининград, 26 сентября – 01 октября 2022 года. Том 3. Калининград, 2022. С. 143-148. EDN: OYMWRY.
9. Эффективность применения пробиотиков в аквакультуре / В.А. Шилова, Е.А. Гайдук, А.А. Иванов, Г.А. Пономарев // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Пенза, 15–16 марта 2024 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2024. С. 265-268. EDN: PPULCM.
10. Эффективность использования синбиотического препарата «ПроСтор» в качестве добавок в комбикорм при выращивании сеголеток карпа в прудовых условиях / В.П. Масликов, З.И. Легкодимова, Г.В. Сильникова [et al.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 70-79. DOI: 10.33920/sel-09-2201-06. EDN: MZDNQT.
11. Биологическое действие кормовых пробиотических добавок «Субтилис-Ж» и «АТЫШ» на организм годовиков карпа / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, К.А. Салдеева // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. № 11. С. 775-782. DOI: 10.33920/sel-09-2211-06. EDN: DHXDWQ.

12. Использование кормовой добавки «Энзимспорин» при выращивании двухлетков радужной форели / Ю.И. Есавкин, А.В. Жигин, А.А. Максименкова [et al.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 53-65. EDN: AGPBKM
13. Use of probiotics in aquaculture of China - a review of the past decade / Wang A., Ran C., Wang Y. [et al.] // Fish. Shellfish Immun. 2019. Vol. 86. No11. Pp. 734–755. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026.
14. Prevalence of virulence genes and antibiotic susceptibility of *Bacillus* used in commercial aquaculture probiotics in China / Anokyewaa M.A., Amoah K., Li Y. [et al.] // Aquac. Rep. 2021. Vol. 21. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100784. EDN: WIVUAN.
15. Применение пробиотика «Субтилис-С» при разведении нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) / Г.И. Пронина, О.В. Саная, В.В. Дернаков [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. № 3. С. 201-209. DOI: 10.33920/sel-09-2203-04. EDN: TZTHAX.
16. Влияние пробиотика «Энзимспорин» на рост, жизнестойкость и физиологическое состояние стерляди в условиях УЗВ / Г.И. Пронина, Э.В. Бубунец, А.Р. Федотова, Р.В. Желанкин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 53-65. DOI:10.33920/sel-09-2404-05.
17. Влияние применения пробиотиков на рыбоводно-биологические показатели и приросты осетровых рыб / Ю.А. Юрин, Е.А. Максим, Д.В. Осепчук и др. // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2022. Т. 11. № 1. С. 100-104. DOI: 10.48612/sbornik-2022-1-23. EDN: CVRPBN.
18. Гераскин П.П., Ковалева А.В., Григорьев В.А. Влияние пробиотиков на функциональное состояние производителей стерляди // Фундаментальные исследования, инновационные технологии и передовые разработки в интересах долгосрочного развития Юга России : материалы Международного научного форума, посвященного 20-летию ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, 08–10 февраля 2023 года. Ростов-на-Дону: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук». 2023. С. 223-226. EDN: UYYHJI.
19. Сравнительная характеристика влияния пробиотиков «Ветом 2» и «ЛикваФид» при выращивании радужной форели в ИП Романов (Ленинградская область) / Т.А. Нечаева, Л.А. Ильина, В.А. Назаров и др. // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 11. С. 744-754. DOI: 10.33920/sel-09-2311-04. EDN: ZIDQSC.
20. Научное обоснование применения микрокапсулированных пробиотических препаратов в животноводстве / Д.В. Трубников, О.Б. Сеин, А.А. Кролевец, В.А. Стариков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 62-65. EDN: UBMCGX.
21. Методы совместного применения сорбентов и пробиотика в кормлении сельскохозяйственных животных: монография / В.Р. Каиров, З.В. Псхациева, С.В. Булацева [и др.]. // Майкоп : МГТУ. 2022. 253 с. DOI: 10.48612/monograph-2022-3. EDN: PFLHJF.
22. Жандалгарова А.Д. Научно-практическое обоснование использования иммунобиологических препаратов микробного происхождения в аквакультуре: автореф. дис... доктора с.-х. наук. Астрахань, 2024.
23. Сенникова В.Д., Докучаева С.И. Сравнительная характеристика гематологических показателей разноразмерных годовиков ленского осетра // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2016. Т.32. С. 162-168. EDN: XRFTLJ.
24. Шленкина Т.М., Романова Е.М., Мухитова М.Э. Влияние пробиотиков на лейкограмму африканского клариевого сома в условиях индустриальной аквакультуры // Вестник Ульяновской ГСХА. 2018. №4 (44). DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-222-228. EDN: YTSMPZ.
25. Пронина Г.И., Артеменков Д.В., Петрушин А.Б. Сравнительная характеристика сомов разных видов по гематологическим и биохимическим показателям // Труды ВНИРО. 2017. Том 165. С. 111-117. EDN: YUJDPD.

References

1. Dun S. Ensuring sustainable aquaculture development by increasing the natural immunity of cultured fish. *XXV Jubilee Tsarskoye Selo Readings: Proc. of the Int. Sci. Conf.* (April 20–21, 2021, St. Petersburg). Sankt-Peterburg. 2021. Pp. 77-82. (In Russ.). DOI: 10.21443/3034-1434-2024-2-3-64-82
2. Chelyadnikova Yu.A., Musatov G.A. The effect of antibiotics on the intestinal mucosa and symbiotic organisms. *Modern problems of natural sciences and medicine: Coll. of art. of All-Russ. Sci. Conf.* (May 18–20, 2020, Yoshkar-Ola). Yoshkar-Ola. 2020. Pp. 517-520 (In Russ.).
3. Kim P.S., Shin N.R., Lee J.B. [et al.]. Host habitat is the major determinant of the gut microbiome of fish. *Microbiome*. 2021; Vol.9, No1: art.166. DOI: 10.1186/s40168-021-01113-x.
4. Adamovsky O., Buerger A.N., Wormington A.M. [et al.] The gut microbiome and aquatic toxicology: An emerging concept for environmental health. *Environmental toxicology and chemistry*. 2018; Vol.37, No11: 2758–2775. DOI: 10.1002/etc.4249.
5. Park J, Kim EB. Insights into the Gut and Skin Microbiome of Freshwater Fish, Smelt (*Hypomesus nipponensis*). *Current microbiology*. 2021; Vol.78, No5: 1798–1806. DOI: 10.1007/s00284-021-02440-w.

6. Spilsbury F., Foysal M.J., Tay A., Gagnon M.M. Gut Microbiome as a Potential Biomarker in Fish: Dietary Exposure to Petroleum Hydrocarbons and Metals, Metabolic Functions and Cytokine Expression in Juvenile Lates calcarifer. *Frontiers in Microbiology*, 2022; Vol.13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.827371
7. Zueva M.S., Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Kilyakova Yu.V. Modern research on the study of the intestinal microbiome in fish. *Animal Husbandry and Feed Production*, 2023; Vol.106, No 2:198-213 (In Russ.). DOI: 10.33284/2658-3135-106-2-198.
8. Hamad H.A. To the question of the effective use of probiotics in aquaculture. Baltic Sea Forum: Proc. of the X Int. Baltic Sea Forum: in 7 vol., Kaliningrad, September 26 – October 1, 2022. Kaliningrad. 2022; Vol.3:143-148 (In Russ.).
9. Shilova V.A., Gayduk E.A., Ivanov A.A., Ponomarev G.A. The effectiveness of probiotics in aquaculture. *Innovative technologies in agriculture: theory and practice*: Coll. of art. of the XII Int. Sci. and Pract. Conf., Penza, March 15–16, 2024. Penza. 2024. Pp. 265-268 (In Russ.). EDN: PPULCM.
10. Maslikov V.P., Legkodimova Z.I., Silnikova G.V. [et al.]. The effectiveness of using the synbiotic drug “ProStor” as additives in compound feed when growing carp fingerlings in pond conditions. *Fish breeding and fisheries*. 2022;1:70-79 (In Russ.). DOI: 10.33920/sel-09-2201-06.
11. Kilyakova Yu.V., Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Saldeeva K.A. Biological effect of feed probiotic additives “Subtilis-ZH” and “Atysh” on the body of carp yearlings. Part 2. Biochemical parameters. *Fish breeding and fisheries*. 2022;11: 775-782 (In Russ.). DOI: 10.33920/sel-09-2211-06.
12. Yesavkin Yu.I., Zhigin A.V., Maksimenkova A.A., Griksas S.A., Pavlov A.D. Use of feed additive “Enzimsporin” in second year rainbow trout growing. *Fish breeding and fisheries*. 2023;1:53-65 (In Russ.). EDN: AGPBKM.
13. Wang A., Ran C., Wang Y. [et al.]. Use of probiotics in aquaculture of China—a review of the past decade. *Fish. Shellfish Immun.* 2019; Vol.86, No11:734–755. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026.
14. Anokyewaa M.A., Amoah K., Li Y. [et al.]. Prevalence of virulence genes and antibiotic susceptibility of *Bacillus* used in commercial aquaculture probiotics in China. *Aquac. Rep.* 2021; Vol.21. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100784.
15. Pronina G.I., Sanaya O.V., Zhernakov V.V. [et al.]. The use of the probiotic “Subtilis-C” in the breeding of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish breeding and fisheries*. 2022;3:201-209 (In Russ.). DOI: 10.33920/sel-09-2203-04.
16. Pronina G.I., Bubunets E.V., Fedotova A.R., Zhelankin R.V. “Enzimsporin” probiotic effect on the growth, vitality and physiological state of sterlet in the RAS. *Fish breeding and fisheries*. 2023;1:53-65 (In Russ.). DOI:10.33920/sel-09-2404-05
17. Yurin D.A., Maxim E.A., Osepchuk D.V., Danilova A.A., Tletseruk I.R. Influence of the application of probiotics on fish-biological indicators and growth performance of sturgeon. *Collection of scientific works of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*. 2022; Vol.11, No 1:100-104 (In Russ.). DOI: 10.48612/sbornik-2022-1-23.
18. Geraskin P.P., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A. Effect of probiotics on the functional state of sterlet breeders. *Fundamental research, innovative technologies, and advanced developments for the long-term development of Southern Russia*. Materials of the International Scientific Forum dedicated to the 20th anniversary of the SSC RAS, Rostov-on-Don, February 8–10, 2023. Rostov-on-Don, 2023. Pp. 223-226 (In Russ.). EDN: UYYHJI.
19. Nechaeva T.A., Ilyina L.A., Nazarov V.A. [et al.] Comparative characteristics of the effect of probiotics Vetom 2 and liquafed in growing rainbow trout in ST “Romanov” (Leningrad region). *Fish breeding and fisheries*. 2023;11:744-754 (In Russ.). DOI: 10.33920/sel-09-2311-04.
20. Trubnikov D.V., Sein O.B., Krolevets A.A., Starikov V.A. Scientific substantiation of use of microencapsulated probiotics in animal husbandry *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*, 2015;4:62-65 (In Russ.).
21. Kairov V.R., Pskhatsieva Z.V., Bulatseva S.V. Metody sovmestnogo primeneniya sorbentov i probiotika v kormlenii selskokhozyaystvennykh zhivotnykh: monografiya. Maykop: MGTU, 2022. Pp. 253 (In Russ.). DOI: 10.48612/monograph-2022-3.
22. Zhandalgarova A.D. Scientific and practical обоснование of using immunobiological preparations of microbial origin in aquaculture. Doctoral dissertation abstract. Astrakhan, 2024.
23. Sennikova V.D., Dokuchayeva S.I. Comparison characteristic of hematological parameters of different sized Lena sturgeon yearlings. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi = Issues of Fisheries of Belarus*. 2016; Vol.32:162-168.
24. Shlenkina T.M., Romanova E.M., Mukhitova M.E. Effect of probiotics on the leucogram of African sharp-tooth catfish in the conditions of industrial aquacultures. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; No4. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-222-228.
25. Pronina G.I., Artemenkov D.V., Petrushin A.B. Comparative characteristics of catfish of different species by hematological and biochemical parameters. *Trudy VNIRO*. 2017; Vol.165:111-117 (In Russ.).

Информация об авторах

Александр Иванович Михайлов – младший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт животноводства, Сибирский федеральный центр агробиотехнологий РАН, mikhaylovai_98@vk.com;

Сергей Николаевич Магер – доктор биологических наук, профессор, руководитель, Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт животноводства, Сибирский федеральный центр агробиотехнологий РАН; профессор кафедры терапии, хирургии и акушерства, Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, mager_s.n@mail.ru;

Ирина Владимировна Моружи – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биологии, биоресурсов и аквакультуры, Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, irina.moruzi@yandex.ru;

Галина Васильевна Калмыкова – кандидат биологических наук, руководитель отдела научных исследований, ООО «Микопро», gvkalmyk@mail.ru;

Елена Витальевна Пищенко – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии, биологических ресурсов и аквакультуры, Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, e_pishchenko@bk.ru

Information about the authors

Alexander I. Mikhailov – Junior Researcher, Siberian Research and Design-Technological Institute of Animal Husbandry, Siberian Federal Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, mikhaylovai_98@vk.com;

Sergey N. Mager – Doctor of Science (Biology), Professor, Head of Siberian Research and Design-Technological Institute of Animal Husbandry, Siberian Federal Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Professor, Chair of Internal Medicine, Surgery, and Obstetrics, Siberian State University of Engineering and Biotechnology; mager_s.n@mail.ru;

Irina V. Moruzi – Doctor of Science (Biology), Professor, Head of the Chair of Biology, Bioresources and Aquaculture, Siberian State University of Engineering and Biotechnology, irina.moruzi@yandex.ru;

Galina V. Kalmykova – Candidate of Science (Biology), Head of Research Department, LLC “Mikopro”, gvkalmyk@mail.ru;

Elena V. Pishchenko – Doctor of Science (Biology), Siberian State University of Engineering and Biotechnology, e_pishchenko@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 16.06.2026; одобрена после рецензирования 21.08. 2026; принята к публикации 25.08.2026.

The article was submitted 16.06.2026; approved after reviewing 21.08.2026; accepted for publication 25.08.2026.