

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ БИОСТИМУЛЯТОРОВ ПРИ РАЗВИТИИ АКВАКУЛЬТУРЫ СИГОВЫХ РЫБ ОЗЕРА БАЙКАЛ*

**О.Ю. Глызина¹, С.Н. Адамович², О.А. Белых³, Л.В. Суханова¹, Е.Н. Оборина²,
Л.А. Глызин¹, В.М. Яхненко¹, М.Л. Тягун¹, Ю.П. Сапожникова¹**

¹ *Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация*

² *Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация*

³ *Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

Информация о статье

Дата поступления
15 сентября 2020 г.

Дата принятия к печати
1 октября 2020 г.

Дата онлайн-размещения
10 ноября 2020 г.

Ключевые слова

Аквакультура; оз. Байкал;
синтетические биостимуляторы;
искусственное
воспроизводство; рыбные
ресурсы

Аннотация

Синтезирован ряд биологически активных соединений — протатранов с общей формулой $ArXCH_2CO_2 \cdot HN+(CH_2CH_2OH)_3$ (А), где Ar = арил; X = O, S, SO, SO₂, Se. Впервые предложено применение протатранов (А), в частности протатранов 2-Ме-С₆H₄OСН₂СО₂– · HN+(СН₂СН₂ОН)₃ (1) и 4-Cl-С₆H₄SO₂СН₂СО₂– · HN+(СН₂СН₂ОН)₃ (2), в качестве стимуляторов роста и развития сеголетков гибридных форм пресноводных сиговых рыб. Установлено, что добавление в корм для рыб (гибрид сига озерного и пыжьяна) микроколичеств (0,001 %) протатранов 1 и 2 увеличивает их жизнестойкость на 6 %, рост — на 10 %, а вес — на 14 %. Доступные синтетические биостимуляторы 1 и 2 могут найти применение при искусственном воспроизводстве пресноводных холодноводных рыб (сиговые, лососевые).

Финансирование

Работа выполнена в рамках фундаментального научного исследования по госзаданию № 0345-2016-0002 (АААА-А16-116122110066-1) «Молекулярная экология и эволюция живых систем Центральной Азии в условиях глобальных экологических изменений» и интеграционной программы Иркутского научного центра СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей» на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» ЛИН СО РАН. Синтез протатранов осуществлен в соответствии с госконтрактом (АААА-А16-116112510004-0) при финансовой поддержке РФФИ и правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-43-380001 на оборудовании Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН. Аквакультура сиговых рыб получена в рамках проектов РФФИ и правительства Иркутской области № 17-44-388081 p_a и 17-44-388106 p_a

* Помощь в организации и проведении работ оказали сотрудники различных рыбоводных организаций: Байкальского филиала ФГУП «Госрыбцентр» (г. Улан-Удэ), филиала ОАО «Востсибрыбцентр» — Большереченского рыбоводного завода (с. Большая Речка, Республика Бурятия) и ООО «Байкальская рыба» (пос. Бурдугуз, Иркутская область).

PROSPECTS OF THE USE OF SYNTHETIC BIOSTIMULANTS FOR THE DEVELOPMENT OF AQUACULTURE OF WHITEFISHES IN LAKE BAIKAL

Olga Yu. Glyzina¹, **Sergey N. Adamovich**², Olga A. Belykh³, Lyubov V. Sukhanova¹, Elizaveta N. Oborina², Leonid A. Glyzin¹, **Vera M. Yakhnenko**¹, Marina L. Tyagun¹, Yulia P. Sapozhnikova¹

¹ *Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation*

² *A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation*

³ *Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation*

Article info

Received
September 15, 2020

Accepted
October 1, 2020

Available online
November 10, 2020

Keywords

Aquaculture; lake Baikal;
synthetic biostimulants; artificial
reproduction; fish resources

Abstract

A number of biologically active compounds, protatrans with the general formula $ArXCH_2CO_2 \cdot HN+(CH_2CH_2OH)_3$ (A), in which Ar = aryl; X = O, S, SO, SO₂, Se were synthesized. It is the first time that the use of protatrans (A) was suggested, namely of the protatrans 2-Me-C₆H₄OCH₂CO₂ · HN+(CH₂CH₂OH)₃ (1) and 4-Cl-C₆H₄SO₂CH₂CO₂ · HN+(CH₂CH₂OH)₃ (2), as stimulants of growth and development of underyearlings of freshwater whitefish hybrid forms. It was concluded that adding microquantities of protatrans 1 and 2 (0,001 %) to the fish feed for the hybrid of lake whitefish and Siberian whitefish increases its viability by 6 %, growth by 10 % and weight by 14 %. Available synthetic biostimulants 1 and 2 can be used for artificial reproduction of freshwater cold-water fish (whitefish, salmon).

Acknowledgements

The article was written within the framework of the fundamental scientific research in compliance with the state assignment № 0345-2016-0002 (AAAA-A16-116122110066-1) «Molecular Ecology and Evolution of Living Systems of Central Asia in the Context of Global Ecological Changes» and integration program of Irkutsk Scientific Centre SB RAS «Fundamental Research and Breakthrough Technologies as a Basis of Advanced Development of Baikal Region and Its Interregional Ties» on the basis of the unique scientific installation «Experimental Freshwater Aquarium Complex of Baikal Hydrobionts» of Limnological Institute of SB RAS. Synthesis of protatrans was conducted in compliance with the government contract (AAAA-A16-116112510004-0) with financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the government of Irkutsk region within the framework of scientific research № 20-43-380001 with the equipment of Baikal Analytical Center of Resource Sharing of SB RAS. The aquaculture of whitefish was produced within the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research and the government of Irkutsk region № 17-44-388081 p_a and 17-44-388106 p_a

При общей тенденции к сокращению рыбных запасов планеты особое значение приобретает развитие аквакультуры. В современном мире это наиболее динамично развивающееся направление по производству продуктов питания [1; 2]. В последние 15–20 лет ежегодный прирост искусственно выращенных гидробионтов составлял 7–10 %.

При сохранении существующих темпов развития к 2030 г. более половины добытых водных биоресурсов будет иметь искусственное происхождение [3–8].

Рыбоводство является формой аквакультуры. На сегодняшний день производство высокопродуктивных аквакультур дает треть

общемировых объемов пищевой рыбопродукции. Кроме того, разведение рыбы на рыбоводных заводах обеспечивает воспроизводство и повышает численность промысловых видов рыб в естественных водоемах.

Основная цель современного рыбоводства заключается в разработке инновационных подходов к сохранению биоразнообразия и созданию высокотехнологичной устойчивой промышленной аквакультуры рыб [5]. Развитие холодноводной аквакультуры на основе лососевидных рыб представляется приоритетным направлением развития аквакультуры. Развитие индустриальной аквакультуры сиговых рыб предполагает возможность

выращивания полноценных производителей для снижения зависимости от импорта икры и посадочного материала [4]. Среди всей ихтиофауны оз. Байкал особое место занимают сиговые рыбы, в том числе сиг озерный *Coregonus lavaretus* и сиг озерно-речной — пыжьян *Coregonus pidschian* [9]. Запасы сегов в результате нерегулируемого промысла оказались подорванными, поэтому они потеряли свое промысловое значение [10].

В настоящее время для быстрого увеличения численности сига необходимо его искусственное разведение, включая аквакультурное разведение, селекцию и использование различных методических и методологических подходов. В данном контексте для развития аквакультуры весьма перспективна методология применения стимуляторов.

В Иркутском институте химии СО РАН получен широкий ряд синтетических биологически активных соединений, названных «атраны» [11–13], в частности ряд арил-халькогенилацетатов трис(2-гидроксиэтил)аммония, названный «протатраны», с общей формулой $ArXCH_2CO_2^- \cdot HN^+(CH_2CH_2OH)_3$ (A), где Ar = арил; X = S, SO, SO₂, Se [14].

Протатраны (A) имеют уникальное трициклическое строение (рис. 1) и представляют собой бесцветные нетоксичные (LD₅₀ = 1 300–6 000 мг/кг) порошки или ионные жидкости, устойчивые при хранении, хорошо растворимые в воде.

Среди протатранов (A) найдены вещества, перспективные для медицины, клинической микробиологии, биотехнологии и сельского хозяйства. Так, выявлена их высокая и разнообразная физио- и фармакологическая (противоопухолевая, антиметастатическая, антитромботическая, антиоксидантная, иммуностропная, защитная и др.) активность. Кроме того, протатраны в микро- и даже наноконцентрациях (до $1 \cdot 10^{-10}$ % масс.) оказались мощными стимуляторами различных биологических процессов. Получены доказательства стимулирующего действия некоторых протатранов на рост и развитие животных, птиц, насекомых, растений, грибов, бактерий, клеток и ферментов [15].

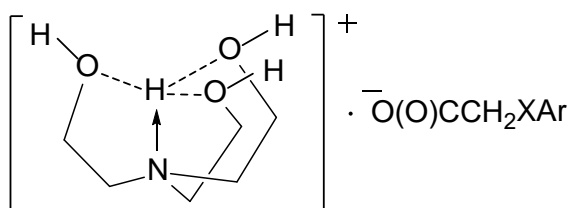


Рис. 1. Строение протатранов (A)

Протатраны обладают мембранстабилизирующим и цитопротекторным действием, улучшают белковый, жировой, минеральный и углеводный обмен и могут быть использованы для интенсификации рыборазведения. В то же время сведения об использовании протатранов в аквакультуре отсутствуют.

Цель работы

Целью данной работы является исследование соединений из ряда протатранов (A) — 2-Me-C₆H₄OCH₂CO₂⁻ · HN⁺(CH₂CH₂OH)₃ (1) и 4-Cl-C₆H₄SO₂CH₂CO₂⁻ · HN⁺(CH₂CH₂OH)₃ (2) — в качестве синтетических биостимуляторов роста и развития гибридных форм байкальских сиговых рыб в условиях установок замкнутого водоснабжения для получения быстрорастущих устойчивых аквакультур.

Объекты и методика исследования

В экспериментах использованы сеголетки гибридной формы байкальских сиговых рыб (сиг озерный *Coregonus lavaretus* (самка) и сиг озерно-речной — пыжьян *Coregonus pidschian* (самец)).

В экспериментах по стимуляции развития рыб были использованы протатраны, синтезированные в Иркутском институте химии СО РАН (Россия).

Эксперименты проводились с мая 2018 г. по май 2019 г. на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» при Лимнологическом институте СО РАН.

Условия содержания

Выращивание рыб осуществляли в экспериментальных мини-установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) на водопроводной ангарской воде, разработанных и адаптированных сотрудниками Лимнологического института (рис. 2).

Для поддержания в установках постоянной температуры использовали прибор ТРМ202 («Овен», Россия), камеры-холодильники и кондиционеры. Температура воды поддерживалась на уровне +16 °С. Качество воды контролировалось еженедельно, а pH проверяли ежедневно и поддерживали в области 7,1–7,5. Начальную стерилизацию аквасистемы проводят 1%-ным раствором антисептика «Анавидин» с последующей тщательной отмывкой препарата и контролем стерильности путем отбора смывов и их посевом на питательные среды. Состав воды регулярно контролировали.



Рис. 2. Уникальная научная установка «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» Лимнологического института СО РАН

Освещение бассейнов УЗВ сохраняли сумеречным, не допуская попадания прямого света. Известно, что при ярком свете у молоди сигов замедляется интенсивность метаболизма, возрастает чувствительность к любым внешним воздействиям, снижается активность и возрастает смертность. В нашем случае выращивание рыб проводили в цокольном помещении, где освещение было искусственным по системе день/ночь (по 12 ч). В качестве источников света использованы фотолюминесцентные светильники ЛПБ 2004А-1 и лампы с разным спектральным режимом. Режим освещения день/ночь обеспечивали при помощи таймера УТ1-Рис («Овен», Россия). Освещенность в основной массе опытов в среднем составляла $200 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. На этапе выращивания сеголетков в бассейнах важно было обеспечить благоприятный режим для выращиваемой рыбы: профилактические мероприятия (не реже одного раза в 1,5 месяца) в виде добавок в корм витаминов, проверка качества воды. Ежемесячно проводили профилактику: в качестве профилактического средства использовали малахитовую зелень, добавляя ее непосредственно в УЗВ. Это позволяло сохранить здоровье рыб и соблюдать технологию их выращивания. Такой метод выращивания [6; 9; 10] сохраняет высокую выживаемость молоди на всех этапах развития (малек, сеголеток, годовик и более старшие возрастные группы).

Выращивание молоди до массы тела от 10 до 400 мг проводили в рыбоводных емкостях, используя круглые (диаметр — 1,5 м, глубина — 0,6 м) бассейны. Экспериментальная плотность посадки молоди — 30 особей m^3 , конечная плотность — около 10 особей m^3 , т.е. в процессе роста молоди плотность ее посадки уменьшалась. Содержание кислорода на вытоке было не менее 7–9 мг/л. При выращивании сеголетков молодь сигов сохраняет высокую чувствительность к газовому режиму. Критическая концентрация кислорода для этой возрастной группы сигов равна 6,5 мг/л. Поэтому сохранялось его содержание в воде на уровне более 7,0 мг/л. При этом проточность воды в бассейнах составляла около 4 л/мин.

Кормление рыб осуществлялось профессиональным голландским кормом Coppens (Coppens International BV, Нидерланды) от Start Premium — 1-миллиметровые микрогранулы для мальков форели, сиговых, осетровых рыб, сома, тилапии, и гранулами Supreme-22 — производственным кормом для УЗВ, садковых и прудовых хозяйств (3,0 мм — для рыбы весом 35–200 г, 4,5 мм — для рыбы весом 200–500 г, 6,0 мм — для рыбы весом более 500 г).

В наших экспериментах корм подавался два раза: один раз — комбикорм фирмы Coppens, а второй раз — живой корм (почвенные олигохеты, дафнии). При выращивании рыбы было определено общее требующееся количество корма на всех этапах

выращивания. Учитывая морфологические и физиологические особенности гибридной формы молоди байкальских сига, режим кормления определили следующим образом: при увеличении массы тела от 10 до 60 г — три раза в сутки, а при дальнейшем росте молоди — двухразовое кормление.

Из литературы известно, что у большинства сига потребленная пища, в том числе гранулированная, трансформируется в пищеварительном тракте в течение 6–9 ч [8]. После переваривания пищи сформировавшиеся экскременты выводятся из организма во внешнюю среду, и пищеварительный тракт до следующего кормления остается свободным. При трехкратном кормлении практически все время пищеварительный тракт функционирует, трансформируя регулярно потребленный корм. При двукратном режиме кормления около 6–8 ч в сутки процесс пищеварения у молоди сига не осуществляется. Эти особенности молоди сига учитывали и соответствующим образом регулировали режим ее кормления. По мере роста рыб размеры гранул корма увеличивались. Норма внесения корма при температуре воды +16 °С составляла 7,5 % от биомассы выращиваемой молоди.

Эксперимент в мини-УЗВ по влиянию протатранов на аквакультуры сига рыб проведен впервые. В корм непосредственно перед кормлением добавлялся 0,001%-ный водный раствор протатрана 1 или 2. Введение протатранов в комбикорм производили с помощью дозаторов в соответствии с весом корма. Количество корма увеличивалось и, соответственно, увеличивался объем вводимого в корм протатрана (в расчете на 100 г веса рыбы).

Контроль за состоянием молоди осуществлялся путем ежемесячного измерения массы тела и общей длины рыбы от кончика рыла до конца хвостового плавника. В начале эксперимента при добавлении в корм протатранов молодь гибридов была в возрасте 130 суток, когда состояние молоди сига можно признать удовлетворительным по показателям соотношения вес (г) / длина (см) и прирост веса / прирост длины [8].

Результаты и их обсуждение

При сравнении скорости развития аквакультур байкальских сига рыб была выбрана самая быстрорастущая, быстроразвивающаяся форма аквакультуры — гибрид сига озерного (самка) и пыжьяна (самец), полученный из криосохраненных половых продуктов.

Морфологические описания гибридных форм дают материал для установления закономерностей наследственности и способствует уточнению их родственных связей. Морфологические признаки гибридов не всегда соответствуют средним значениям и могут даже выходить за пределы обеих родительских форм (рис. 3).

Известно, что разные сига, обитающие совместно, легко скрещиваются, а межвидовые гибриды отличаются мощным гетерозисом, и байкальские сига не являются исключением [8]. Так, наличие гибридов омуля с озерно-речным сигом в природе отмечалось многими исследователями. Естественные гибриды озерного сига с омулем и озерного сига с озерно-речным сигом (пыжьяном) не отмечены. Единственной причиной отсутствия гибридов называют разобщение нереста во времени и пространстве.

Величина морфометрических признаков у рыб, как правило, бывает связана с условиями обитания и обеспеченностью рыб пищей. В нашем случае все рыбы в течение года содержались в идентичных условиях, включая температурный, световой, звуковой режим и состав воды. При сравнении таких морфологических признаков, как вес и промысловая длина, ранее нами было выявлено, что гибрид сига озерного и пыжьяна самый быстрорастущий и выносливый среди гибридных и негибридных форм байкальских сига рыб, выращенных в условиях УЗВ. При оценке общей изменчивости морфометрических признаков гибридов, как меристических, так и пластических, было отмечено, что они укладываются в пределы значений, характерные для представителей байкальских сига (рис. 4). Поэтому при испытании протатранов 1 и 2 в



Рис. 3. Получение морфологических характеристик экспериментальных рыб

кормлении рыб критерием эффективности их как стимуляторов роста были рост и вес рыб на единицу их прироста. Экспериментальные работы показали, что введение в рацион сеголеток гибридов сиговых рыб корма, пропитанного 0,001%-ным раствором протатрана 2, увеличивает их рост на 10 %, а вес — на 14 % (табл.).

Добавление в корм для рыб растворов протатранов 1 и 2 уменьшает смертность среди рыб на 6 %. Применение микродоз протатранов 1 и 2 дает возможность снижать кормовые затраты для сеголетков.

Таким образом, проведенные исследования показали, что синтезированные соединения 1 и 2 из ряда протатранов (А) являются биостимуляторами роста и развития, а также адаптогенами для сеголетков гибрида байкальского сига озерного и пыжьяна.

Добавление в корм для рыб протатранов 1 и 2 в микроконцентрациях (0,001 % масс.) увеличивает рост (до 10 %) и вес (до 14 %) рыб и уменьшает смертность среди них на 6 %. Использование этих стимуляторов позволяет сократить затраты времени и средств при лечении рыб и профилактических мероприятиях. Установлены различия в скорости роста рыб при добавлении в корм протатранов 1 и 2. Наибольший в этом плане эффект показал протатран 2.

Будучи стимуляторами роста, протатраны, вероятно, мобилизируют резервные возможности организма рыб, повышая его жизнедеятельность и жизнестойкость.

Заключение

Полученные результаты показывают перспективность исследований протатранов

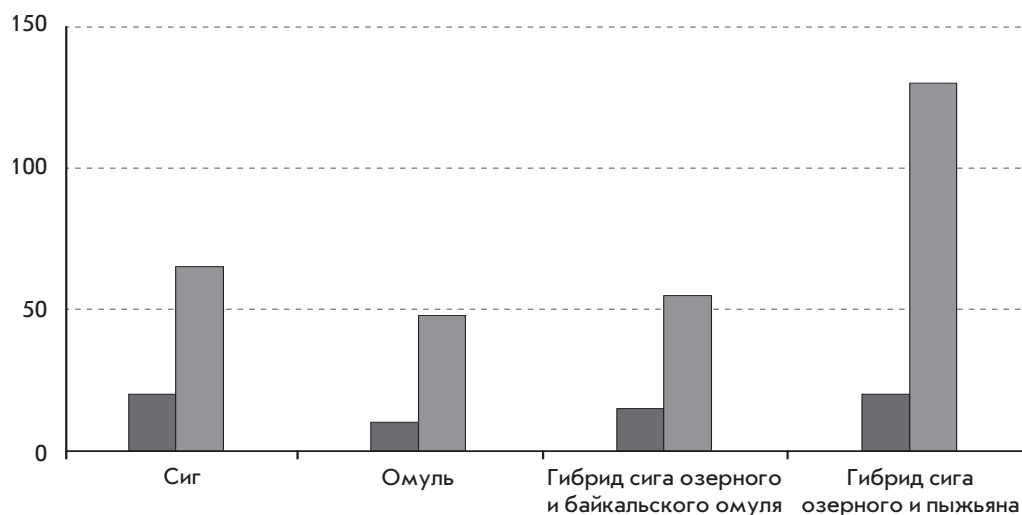


Рис. 4. Показатели веса различных аквакультур байкальских сиговых рыб (возраст — 1,5 года), г

Вес и рост сеголетков гибрида сига озерного и пыжьяна с добавлением в корм протатранов 1 и 2 (n = 10)

Месяц	Вес рыб, г			Промысловая длина рыб, см		
	Контроль	1	2	Контроль	1	2
0-й*	14,01 ± 0,95	14,33 ± 1,14	14,72 ± 1,02	10,74 ± 3,41	10,05 ± 0,98	10,45 ± 2,03
1-й	14,31 ± 1,05	14,53 ± 1,41	15,20 ± 2,01	11,56 ± 3,09	10,84 ± 1,36	11,91 ± 2,72
2-й	17,87 ± 2,01	16,76 ± 0,89	19,43 ± 3,17	13,31 ± 2,90	12,07 ± 3,22	13,96 ± 2,50
3-й	21,91 ± 3,71	21,07 ± 4,23	24,35 ± 2,93	14,42 ± 3,31	13,89 ± 2,90	16,02 ± 3,79
4-й	30,89 ± 3,45	27,85 ± 1,90	34,85 ± 6,79	15,67 ± 4,09	15,61 ± 3,22	18,09 ± 3,56
5-й	57,58 ± 4,09	44,25 ± 4,00	63,50 ± 4,60	17,80 ± 3,40	17,98 ± 4,00	19,43 ± 3,75
6-й	109,77 ± 6,07	110,60 ± 3,91	118,95 ± 5,14	20,12 ± 3,40	19,87 ± 3,40	21,74 ± 4,32
7-й	131,68 ± 6,41	129,34 ± 4,15	140,18 ± 4,77	21,83 ± 3,40	20,70 ± 3,49	23,06 ± 2,14
8-й	132,73 ± 2,97	130,97 ± 6,09	149,92 ± 5,18	22,07 ± 2,72	21,79 ± 3,77	23,96 ± 2,49
9-й	189,58 ± 5,61	191,80 ± 4,42	205,78 ± 6,04	22,57 ± 1,98	22,05 ± 4,02	24,45 ± 4,07
10-й	232,92 ± 3,18	236,17 ± 5,11	268,70 ± 4,79	23,54 ± 3,20	22,94 ± 4,06	25,54 ± 5,18
11-й	259,68 ± 4,43	257,73 ± 4,97	290,34 ± 5,18	25,74 ± 2,28	24,95 ± 2,96	31,07 ± 3,25
12-й	288,86 ± 10,27	281,43 ± 10,61	317,13 ± 10,27	27,85 ± 1,41	27,05 ± 2,07	31,75 ± 2,81

Примечание. 1 — май 2018 г.; 2 — май 2019 г.

* Период адаптации (две недели).

ряда А, в частности 1 и 2, в качестве эффективных биостимуляторов роста и развития гибридов сиговых рыб, а также адаптогенов для них. Преимуществом синтетических биостимуляторов 1 и 2 является их низкая стоимость, высокая растворимость в воде, устойчивость при хранении, нетоксичность и эффективность в низких (0,001 % масс.) концентрациях.

Обнаруженное положительное влияние протатрановых соединений на увеличение роста и веса рыб, а также на снижение смертности среди них может быть использовано при разработке экологически

безопасных и действенных методов интенсификации рыборазведения, а также для повышения стрессоустойчивости аквакультурных видов рыб.

Таким образом, результаты проводимой работы могут быть использованы для смягчения воздействия на различные виды рыб разного рода факторов стресса в условиях антропогенной нагрузки, в том числе в условиях аквакультуры. Такие эксперименты носят фундаментальный характер, и полученные результаты могут в дальнейшем применяться в медицине, в том числе при изучении повышенных нагрузок на человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронина Г.И. Физиолого-иммунологическая оценка культивируемых гидробионтов: карпа, сома обыкновенного, речных раков : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.03.01 / Г.И. Пронина. — Москва, 2012. — 36 с.
2. Роговцов С.В. Рыбоводно-технологические параметры выращивания сиговых рыб в установках замкнутого водоснабжения / С.В. Роговцов, Н.В. Барулин, В.Г. Костоусов // Животноводство и ветеринарная медицина. — 2018. — № 2. — С. 18–25.
3. Timmons M.B. *Recirculating Aquaculture* / M.B. Timmons, J.M. Ebeling. — 2nd ed. — New York : Ithaca, 2007. — 489 p.
4. The Accumulation of Substances in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) Affects Embryonic and Larval Development in Common Carp *Cyprinus Carpio* / C.I. Martins, M.G. Pistrin, S.S. Ende [et al.] // *Aquaculture*. — 2009. — Vol. 291. — P. 65–73.
5. Parasitic Protozoan Interactions with Bacterial Microbiome in a Tropical Fish Farm / G.B. Gomes, K.S. Hutson, J.A. Domingos [et al.] // *Aquaculture*. — 2019. — Vol. 502. — P. 196–201.
6. Марикультура / сост. И.А. Галатдинова. — Саратов : Изд-во СГАУ, 2016. — 40 с.
7. Решетников Ю.С. Экология и систематика сиговых рыб / Ю.С. Решетников. — Москва : Наука, 1980. — 301 с.
8. Скрябин А.Г. Сиговые рыбы юга Сибири / А.Г. Скрябин. — Новосибирск : Наука, 1979. — 232 с.
9. Семенченко С.М. Уровень естественного воспроизводства и разработка биотехники искусственного разведения байкальского озерно-речного сига : отчет / С.М. Семенченко. — Улан-Удэ : Востсибрыбцентр, 1992. — 26 с.
10. Черняев Ж.А. Воспроизводство сиговых рыб / Ж.А. Черняев. — Москва : КМК, 2017. — 329 с.
11. Adamovich S.N. Amide Derivatives of 3-aminopropylsilatrane / S.N. Adamovich, E.N. Oborina, I.A. Ushakov // *Mendeleev Communications*. — 2019. — Vol. 29. — P. 688–689.
12. Adamovich S.N. New Atranes and Similar Ionic Complexes. Synthesis, Structure, Properties / S.N. Adamovich // *Applied Organometallic Chemistry*. — 2019. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aoc.4940>.
13. Isoxazole Derivatives of Silatrane: Synthesis, Characterization, in Silico ADME Profile, Prediction of Potential Pharmacological Activity and Evaluation of Antimicrobial Action / S.N. Adamovich, E.V. Kondrashov, I.A. Ushakov [et al.] // *Applied Organometallic Chemistry*. — 2020. — e5976. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/aoc.5976>.
14. Tris(2-hydroxyethyl) ammonium Salts: 2,8,9-Trihydroprotatranes / M.G. Voronkov, A.I. Albanov, T.N. Ak-samentov [et al.]. DOI: 10.1134/S1070363209110097 // *Russian Journal of General Chemistry*. — 2009. — Vol. 79, № 11. — P. 2339–2346.
15. Фармакологически активные соли и ионные жидкости на основе 2-гидроксиэтиламинов, арилхалькогенилуксусных кислот и эссенциальных металлов / А.Н. Мирскова, С.Н. Адамович, Р.Г. Мирсков, М.Г. Воронков // *Известия Академии наук. Сер. химическая*. — 2014. — Т. 63, № 9. — С. 1869–1883.

REFERENCES

1. Pronina G.I. *Fiziologo-immunologicheskaya otsenka kultiviruemykh gidrobiontov: karpa, soma obyknovennogo, rechnykh rakov. Avtoref. Dokt. Diss.* [Physiological and Immunological Assessment of Cultured Hydrobionts: Catfish, Common Carp, Crayfish. Doct. Diss. Thesis]. Moscow, 2012. 36 p.
2. Rogovtsov S.V., Barulin N.V., Kostousov V.G. Fish-Breeding Technology Parameters of Producing Whitefish in Installations of Closed-Circuit Water Supply. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina = Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018, no. 2, pp. 18–25. (In Russian).
3. Timmons M.B., Ebeling J.M. *Recirculating Aquaculture*. 2nd ed. New York, Ithaca, 2007. 489 p.
4. Martins C.I., Pistrin M.G., Ende S.S., Eding E.H., Verreth J.A. The Accumulation of Substances in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) Affects Embryonic and Larval Development in Common Carp *Cyprinus Carpio*. *Aquaculture*, 2009, vol. 291, pp. 65–73.
5. Gomes G.B., Hutson K.S., Domingos J.A., Villamil S.I., Huerlimann R., Miller T.L., Dean J. Parasitic Protozoan Interactions with Bacterial Microbiome in a Tropical Fish Farm. *Aquaculture*, 2019, vol. 502, pp. 196–201.

6. Galatdinova I.A. (ed.). *Marikul'tura* [Mariculture]. Saratov State Agrarian University Publ., 2016. 40 p.
7. Reshetnikov Yu.S. *Ekologiya i sistematika sigovykh ryb* [Ecology and Taxonomy of Whitefish]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 301 p.
8. Skryabin A.G. *Sigovye ryby yuga Sibiri* [Whitefish of the South of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 232 p.
9. Semenchenko S.M. *Uroven' estestvennogo vosproizvodstva i razrabotka biotekhniki iskusstvennogo razvedeniya baikal'skogo ozerno-rechnogo siga* [Level of Natural Reproduction and Development of Biotechnology of Artificial Breeding of Baikal Lake and River Whitefish]. Ulan-Ude, Vostsibrybtsentr Publ., 1992. 26 p.
10. Chernyaev Zh.A. *Vosproizvodstvo sigovykh ryb* [Reproduction of White Fish]. Moscow, KMK Publ., 2017. 329 p.
11. Adamovich S.N., Oborina E.N., Ushakov I.A. Amide Derivatives of 3-aminopropylsilatrane. *Mendeleev Communications*, 2019, vol. 29, pp. 688–689.
12. Adamovich S.N. New Atranes and Similar Ionic Complexes. Synthesis, Structure, Properties. *Applied Organometallic Chemistry*, 2019. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aoc.4940>.
13. Adamovich S.N., Kondrashov E.V., Ushakov I.A., Shatkhina N.S., Oborina E.N., Vashchenko A.V., Belovzhets L.A., Rozentsveig I.B., Verpoort F. Isoxazole Derivatives of Silatrane: Synthesis, Characterization, in Silico ADME Profile, Prediction of Potential Pharmacological Activity and Evaluation of Antimicrobial Action. *Applied Organometallic Chemistry*, 2020, e5976. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/aoc.5976>.
14. Voronkov M.G., Albanov A.I., Aksamentov T.N., Adamovich S.N., Chipanina N.N., Mirskov R.G., Kochina T.A., Vrazhnov D.V., Litvinov M.Yu. Tris(2-hydroxyethyl)ammonium Salts: 2,8,9-Trihydroprotatranes. *Russian Journal of General Chemistry*, 2009, vol. 79, no. 11, pp. 2339–2346. DOI: 10.1134/S1070363209110097.
15. Mirskova A.N., Adamovich S.N., Mirskov R.G., Voronkov M.G. Pharmacologically Active Salts and Ionic Liquids Based on 2-Hydroxyethylamines, Arylchalcogenylacetic Acids, and Essential Metals. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya = Russian Chemical Bulletin*, 2014, vol. 63, no. 9, pp. 1869–1883. (In Russian).

Информация об авторах

Глызина Ольга Юрьевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель группы экспериментальной гидробиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: glyzina@lin.irk.ru.

Адамович Сергей Николаевич — доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория галогенорганических соединений, Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: mir@irioch.irk.ru.

Белых Ольга Александровна — доктор биологических наук, профессор, кафедра водных биоресурсов и аквакультуры, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Суханова Любовь Васильевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория ихтиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: lsukhanova@yandex.ru.

Оборина Елизавета Николаевна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, лаборатория галогенорганических соединений, Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: oborina@irioch.irk.ru.

Глызин Леонид Александрович — инженер, группа экспериментальной гидробиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: glyzin@mail.ru.

Яхненко Вера Михайловна — кандидат биологических наук, главный специалист, лаборатория ихтиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: vera@lin.irk.ru.

Тягун Марина Львовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник, лаборатория ихтиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: maritui@mail.ru.

Authors

Olga Yu. Glyzina — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Experimental Hydrobiology Team Manager, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: glyzina@lin.irk.ru.

Sergey N. Adamovich — D.Sc. in Chemistry, Leading Researcher, Laboratory of Organohalogen Compounds, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: mir@irioch.irk.ru.

Olga A. Belykh — D.Sc. in Biology, Professor, Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Lyubov V. Sukhanova — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Ichthyology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: lsukhanova@yandex.ru.

Elizaveta N. Oborina — Ph.D. in Chemistry, Senior Researcher, Laboratory of Organohalogen Compounds, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: oborina@irioch.irk.ru.

Leonid A. Glyzin — Engineer, Group of Experimental Hydrobiology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: glyzin@mail.ru.

Vera M. Yakhnenko — Ph.D. in Biology, Chief Specialist, Laboratory of Ichthyology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: vera@lin.irk.ru.

Marina L. Tyagun — Ph.D. in Biology, Researcher, Laboratory of Ichthyology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: maritui@mail.ru.

Yulia P. Sapozhnikova — Ph.D. in Biology, Researcher, Laboratory of Ichthyology, Limnological In-

Сапожникова Юлия Павловна — кандидат биологических наук, научный сотрудник, лаборатория ихтиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ojsap@mail.ru.

Для цитирования

Перспективы использования синтетических биостимуляторов при развитии аквакультуры сиговых рыб озера Байкал / О.Ю. Глызина, С.Н. Адамович, О.А. Белых, Л.В. Суханова, Е.Н. Оборина, Л.А. Глызин, В.М. Яхненко, М.Л. Тягун, Ю.П. Сапожникова. — DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(3).463-471 // Известия Байкальского государственного университета. — 2020. — Т. 30, № 3. — С. 463–471.

stitute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: ojsap@mail.ru.

For Citation

Glyzina O.Yu., Adamovich S.N., Belykh O.A., Sukhanova L.V., Oborina E.N., Glyzin L.A., Yakhnenko V.M., Tyagun M.L., Sapozhnikova Yu.P. Prospects of the Use of Synthetic Biostimulants for the Development of Aquaculture of Whitefishes in Lake Baikal. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2020, vol. 30, no. 3, pp. 463–471. DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(3).463-471. (In Russian).