

ТОВАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ГИДРОБИОНТОВ

COMMODITY AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION OF HYDROBIONTS

Научная статья

УДК 639.3.05

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-71-78>

Трофический потенциал интегрированных систем на основе индустриальной аквакультуры

Юрий Борисович Львов¹, Григорий Андреевич Шишанов^{2}*

*^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства,
филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста,
Московская обл., пос. им. Воровского, Россия, grigoriy.rock@mail.ru**

Аннотация. Рециркуляционная аквакультура с использованием установок замкнутого водоснабжения в последние десятилетия приобретает все большее значение как наиболее перспективная технология интеграции производства продукции рыбоводства и растениеводства. Одним из наиболее характерных примеров совмещения двух индустриальных технологий является аквапоника. Такая искусственная биологическая система (ИБС) позволяет двум входящим в нее подсистемам, рыбоводству и растениеводству, дополнять друг друга. Не потребленный рыбами корм и экскременты являются питательной средой для растений, которые, в свою очередь, очищают среду обитания от вредных для рыб веществ, что особенно важно в условиях рециркуляции воды. С целью определения количественного и качественного потенциала кормовой базы организмов на втором звене трофической цепи ИБС, создаваемой на базе аквакультуры в установке замкнутого водоснабжения, был проведен эксперимент, результаты которого помогли определить состав и количество организмов, перспективных для включения в технологический режим дальнейшего совместного выращивания. Были разработаны способы и устройство, позволяющие изъять из рыбоводной емкости нерастворенный осадок, образующийся в процессе выращивания рыб, с целью его изучения. Проанализированы и формализованы результаты эксперимента, предложен способ пересчета получаемого икhtiогенного осадка в кормовой потенциал более сложных ИБС. Результаты количественного исследования осадка свидетельствуют о том, что более 15 % используемых кормов переходило в отходы производства. Удельный состав осадка, в сравнении с используемым комбикормом, претерпел следующие изменения: по валовой энергии изменения составили всего 14,6 %, больше всего снизилось содержание липидов (до 59,6 %), существенно возросло содержание клетчатки (на 162,4 %). Изменения по протеину составили 21,4 %. В целом по удельному составу и энергетической ценности собранный и проанализированный осадок может рассматриваться в качестве кормового потенциала для многих животных, занимающих более низкую ступень трофической пирамиды. Полученные результаты позволят определять состав и рассчитать количество организмов, перспективных для включения в технологические режимы интегрируемых технологий.

Ключевые слова: аквакультура, установка замкнутого водоснабжения, рециркуляционная водная система, интеграция, осадок, кормовой потенциал

Для цитирования: *Львов Ю. Б., Шишанов Г. А.* Трофический потенциал интегрированных систем на основе индустриальной аквакультуры // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 71–78. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-71-78>.

Trophic potential of integrated systems based on industrial aquaculture

Yuri B. Lvov¹, Grigory A. Shishanov^{2*}

^{1,2}Russian Research Institute of Integrated Fish Breeding –
Branch of the Federal Science Center for Animal Husbandry named after academy Member L. K. Ernst,
Moscow region, village named after Vorovsky, Russia, grigoriy.rock@mail.ru*

Abstract. Recirculating aquaculture, using closed water supply installations, has become increasingly important in recent decades as a most promising technology for integrating the production of fish farming and crop production. One of the most characteristic examples of combining two industrial technologies is aquaponics. This artificial biological system (IBS) allows the two subsystems included in it, fish farming and crop production to complement each other. Food not consumed by fish and excrement are a nutrient medium for plants, which in turn purify the habitat from substances harmful to fish, which is especially important in conditions of water recycling. In order to determine the quantitative and qualitative potential of the forage base of organisms on the second link of the trophic chain of IBS created on the basis of aquaculture in a closed water supply installation, an experiment was conducted, the results of which helped to determine the composition and number of organisms promising for inclusion in the technological regime of further joint cultivation. Methods and devices have been developed to remove from the fish-water tank the undissolved sediment formed during the cultivation of fish for the purpose of studying it, the results of the experiment have been analyzed and formalized, a method for converting the resulting ichthyogenic sediment into the feed potential of more complex IBS has been proposed. The results of a quantitative study of the sediment indicate that more than 15% of the feed used passed into production waste. The specific composition of the sediment, in comparison with the feed used, underwent the following changes: in terms of gross energy, the changes amounted to only 14.6%, the lipid content decreased the most, which amounted to 59.6%, the fiber content increased significantly (by 162.4%). The changes in protein were 21.4%. In general, in terms of specific composition and energy value, the collected and analyzed sediment can be considered as a feed potential for many animals occupying a lower stage of the trophic pyramid. The obtained results will allow determining the composition and calculating the number of organisms promising for inclusion in the technological modes of the integrated technologies.

Keywords: aquaculture, aquaculture recirculation system, recirculating aquatic system, integration, precipitate, feeding potential

For citation: Lvov Yu. B., Shishanov G. A. Trophic potential of integrated systems based on industrial aquaculture. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2022;1:71-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-71-78>.

Введение

Рециркуляционная аквакультура, она же индустриальная, она же аквакультура с использованием установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), в последние десятилетия приобретает все большее значение как наиболее перспективная технология производства продукции рыбоводства [1]. Кроме того, все больший интерес вызывает интеграция технологий производства различной – как пищевой, так и промышленной – продукции на индустриальной базе, в основе которой лежит рециркуляционная аквакультура. Такое объединение технологий позволяет не только сохранить все имеющиеся плюсы использования УЗВ, но и расширить ассортимент производимой продукции, снизить капитальные и эксплуатационные затраты, повысить прибыльность и экологичность производства. Одним из наиболее характерных примеров совмещения двух индустриальных технологий является аквапоника [2], это интеграция аквакультуры с использованием УЗВ и гидропонии. Такая ис-

кусственная биологическая система (ИБС) позволяет двум входящим в нее подсистемам – рыбоводству и растениеводству – дополнять друг друга. Не потребленный рыбами корм и экскременты являются питательной средой для растений, которые, в свою очередь, очищают среду обитания от вредных для рыб веществ, что особенно важно в условиях рециркуляции воды.

Перспективы использования ИБС не ограничиваются интеграцией рыбоводства и растениеводства: технологии культивирования практически любых организмов, толерантных к единым условиям обитания, могут быть объединены в единую биологическую систему. Основными сдерживающими факторами – как с биологической, так и с экономической точки зрения – являются эффективность или целесообразность введения в ИБС тех или иных организмов [3]. Одним из определяющих факторов можно считать рациональное использование вещественно-энергетического потенциала кормовой базы системы. При

создании интегрированных искусственных биологических систем одновременно нам приходится формировать и трофическую сеть данной системы путем подбора организмов, наиболее рационально использующих потенциал кормовой базы системы на каждом этапе трофической пирамиды [4].

С целью определения количественного и качественного потенциала кормовой базы организмов на втором звене трофической цепи ИБС, создаваемой на базе аквакультуры в УЗВ, нами был проведен эксперимент, результаты которого могут помочь определить состав и количество организмов, перспективных для включения в технологический режим дальнейшего совместного выращивания.

Основными задачами данной работы были следующие:

- создать способ и устройство, позволяющие изъять из рыбоводной емкости нерастворенный осадок, образующийся в процессе выращивания рыб, с целью его изучения;
- проанализировать и формализовать полученные результаты эксперимента. Предложить способ

пересчета получаемого ихтиогенного осадка в кормовой потенциал более сложных ИБС.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась в аквариальном помещении Всероссийского научно-исследовательского института интегрированного рыбоводства, в рыбоводной емкости из органического стекла объемом 1 500 л, с полностью замкнутым водоснабжением на период проведения эксперимента.

Рекуперация воды осуществлялась за счет двух пассивных биологических фильтров, установленных над рыбоводной емкостью. Вода в биофильтры подавалась с помощью аквариумных помп из верхней части водяного столба рыбоводной емкости, со скоростью 3,3 л/мин, что обеспечивало трехкратный суточный водообмен.

Из биофильтров вода без какой-либо дополнительной обработки возвращалась в рыбоводную емкость (рис. 1).



Рис. 1. Рыбоводная емкость объемом 1 500 л:
1 – рыбоводная емкость; 2 – пассивные биофильтры

Fig. 1. Fish tank with capacity 1 500 l:
1 – fish tank; 2 – passive biofilters

Для проведения эксперимента использовался разновидовой состав рыб. Индивидуальная масса

и видовой состав рыб представлены в табл. 1.

Видовой состав и индивидуальная масса рыб, используемых в эксперименте

Species composition and individual weight of fish used in the experiment

Вид	Масса, г
Осетр (<i>Acipenser spp.</i>)	230,4
Линь (<i>Tinca tinca</i>)	230,0
	277,3
	271,5
Карась (<i>Carassius auratus gibelio</i>)	173,3
	115,6
Карп (<i>Cyprinus carpio</i>)	2 220,0
<i>Общая масса рыб всех видов</i>	
	3 518,1

Используемый корм представлял собой смесь карпового производственного комбикорма рецептуры К-111 и осетрового производственного комбикорма производства фирмы «Аллер-Аква» в соотношении 1/1 по весу.

В процессе проведения эксперимента контролировались следующие параметры: температура воды (°С), количество растворенного кислорода (O₂ мг/л) и биологическое потребление кислорода (БПК₂).

Результаты исследований и их обсуждение

Изъятие из рыбоводной емкости нерастворенного осадка. С целью изъятия из рыбоводной

емкости осадка, образующегося в процессе выращивания рыбы (ихтиогенный осадок), использовался кормовой лоток оригинальной конструкции, который состоял из пластикового поддона площадью 0,2 м², с десятисантиметровыми бортиками, приподнятый над поверхностью дна рыбоводной емкости при помощи алюминиевых ножек. В центре лотка расположено отверстие, прикрытое диском диаметром 15 см. Между краями диска и дном лотка имеется фиксированный зазор, равный 4 мм. Внизу лотка, непосредственно под центром диска, присоединена всасывающая помпа производительностью 1 200 л/ч, включающаяся через таймер, рис. 2.



а



б

Рис. 2. Кормовой лоток: а – вид сверху; б – вид сбоку

Fig. 2. Feed tray: а – top view; б – side view

С целью позиционирования подачи корма в кормовой лоток использовалась пластиковая труба диаметром 50 мм. После подачи корма кормораздатчик извлекался, и в течение 14 ч корм был в полном распоряжении рыб. По истечении этого времени включалась отсасывающая помпа, и несъеденный корм и частицы взвеси по шлангу направлялись на гравитационный фильтр. Кормовой лоток, за счет своих относительно высоких

бортиков, препятствовал тяжелым частицам несъеденного корма покидать его пределы. А т. к. помпа в автоматическом режиме продолжала работать с момента включения в течение 7 ч, то и основная часть более легкой взвеси со временем отправлялась на фильтрационный лоток. Только самая легкая взвесь, не улавливаемая имеющимися физическими фильтрами, попадала в биофильтры и если не задерживалась там, то возвращалась в рыбовод-

ную емкость. За период работы отсасывающей помпы происходил 5,5-кратный водообмен, и неучтенные потери образующейся взвеси в рыбоводной емкости были минимизированы.

Фильтрационный лоток, состоящий из алюминиевого каркаса и натянутой на него фильтрационной ткани, был установлен над поверхностью ры-

боводной емкости с небольшим уклоном (2,5 %). К верхнему краю лотка был подведен шланг от всасывающей помпы кормового лотка, по которому взвесь попадала на фильтрационный материал, где частично обезвоживалась до момента ее сбора и последующих исследований (рис. 3).



Рис. 3. Осадок из рыбоводной емкости на фильтрационном лотке

Fig. 3. Sediment from the fish tank on the filter tray

В качестве фильтрующего материала использовался нетканый материал спанбонд плотностью 40 г/м². Данный материал был выбран из-за его дешевизны, доступности, достаточной механической прочности, биохимической инертности и хороших фильтрующих свойств.

После соответствующей обработки спанбонд хорошо пропускает воду, задерживая частицы размером более 100 мкм, имеет равномерное распре-

деление относительно равноразмерных пор, обладает высокой разрывной нагрузкой в сухом и мокром состоянии. При этом спанбонд не имеет свойства образовывать токсичные соединения в воздушной среде и сточных водах в присутствии других веществ и факторов при температуре окружающей среды [5]. Микрофотосъемка фильтрующего материала представлена на рис. 4.

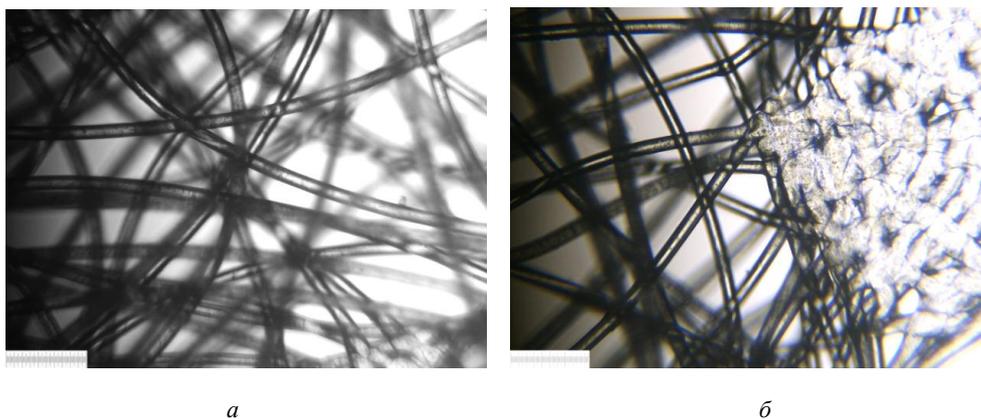


Рис. 4. Волоконная структура фильтрующего материала (линейка в левом нижнем углу соответствует 100 мкм):
a – волокна спанбонда; *б* – спаечный узел волокон спанбонда

Fig. 4. Fiber structure of the filter material (the bar in the lower left corner corresponds to 100 μm):
a – spunbond fibers; *b* – adhesive knot of spunbond fibers

На рис. 5 показан процесс фильтрации воды из рыбоводной емкости через фильтрующий материал спанбонд.

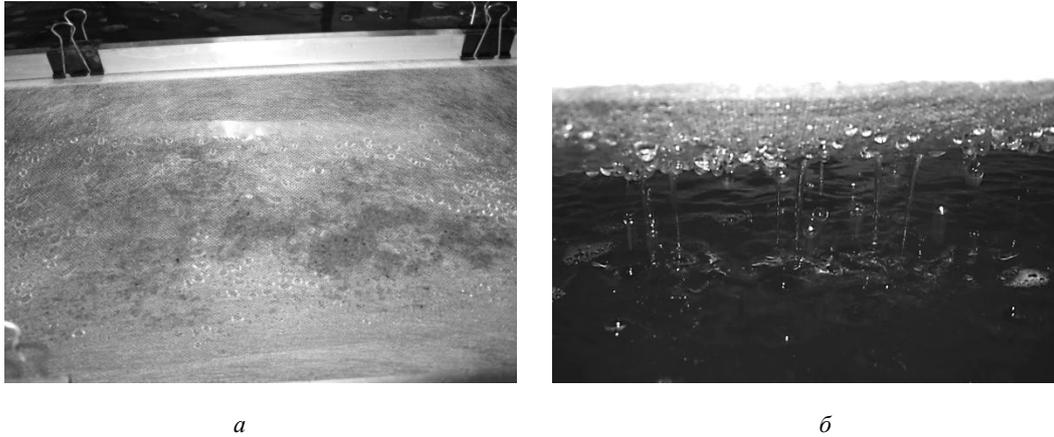


Рис. 5. Фильтрация воды через спанбонд: а – вид сверху; б – вид сбоку

Fig. 5. Water filtration through spunbond: a – top view; б – side view

В процессе фильтрации происходит не только очищение воды от взвеси, но и дополнительная аэрация за счет большой фильтрующей поверхности лотка, которая составляет 0,3 м², или 20 % площади поверхности рыбоводной емкости.

В период проведения эксперимента, в течение которого подмена воды в рыбоводной емкости не

осуществлялась, ежедневно проводился контроль гидрохимических показателей.

Полученные результаты позволяют констатировать, что условия содержания рыб в процессе проведения эксперимента не выходили за рамки нормативных требований (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Гидрохимические показатели в рыбоводной емкости в период проведения эксперимента

Hydrochemical parameters of the fish-breeding tank during the experiment

Период наблюдений, день	Температура воды, °С	О ₂ , мг/л	БПК ₂ , мг/л
1	16,6	7,1	3,25
2	17,2	7,1	4,25
3	17,7	5,6	3,05
4	17,6	6,0	4,75
5	17,5	7,5	4,9
6	17,7	7,6	4,9
7	18,0	5,5	3,05
8	17,9	5,9	2,85
9	18,0	6,2	3,75
10	18,3	6,7	4,35
11	18,6	5,3	4,1
12	18,9	6,1	5,6

Однако условия проводимого эксперимента не были запланированы идеальными для жизнедеятельности всех задействованных рыб. По этой причине не ставились задачи по выявлению зависимости характеристик осадка от температуры, качества корма, видового и возрастного состава рыб и пр.

По ходу проведения эксперимента весь икhtiогенный осадок, полученный от ≈ 90 г задаваемого

корма, тщательно собирался с фильтровального лотка и после высушивания до воздушно-сухого состояния взвешивался с точностью до 2 знака после запятой.

Анализ икhtiогенного осадка. Данные, полученные в результате проведенного эксперимента, были статистически обработаны, их значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Количество ихтиогенного осадка, образовавшегося в процессе эксперимента

The amount of ichthyogenic sediment formed during the experiment

Показатель	n	M	±m	Me	Cv, %	σ
Корм, г	6	89,73	0,50	89,85	1,25	1,12
Осадок, г	6	14,08	0,30	14,12	4,81	0,68
% осадка	6	15,69	0,27	15,73	3,92	0,61

Результаты количественного исследования осадка свидетельствуют о том, что более 15 % используемых кормов переходило в отходы производства, при этом не только снижается рациональность использования дорогостоящего компонента производства рыбной продукции, но и уменьшает-

ся эффективность производства в связи с загрязнением культивационной среды [6].

Используемый корм и полученный ихтиогенный осадок исследовали согласно регламенту зоотехнического анализа (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Зооанализ образцов корма и осадка

Zooanalysis of food and sediment samples

Показатели питательной ценности	Анализируемые образцы		Нормативная документация на методы испытаний
	Корм для рыб	Ихтиогенный фильтрат	
Первоначальная влага, г/кг	68,50	53,90	ГОСТ Р 54951-2012
Воздушно-сухое вещество, г/кг	931,50	946,10	ГОСТ 31640-2012
Протеин, г/кг	341,95	268,79	ГОСТ 32044.1-2012
Жир, г/кг	92,96	37,56	ГОСТ 32905-2014
Клетчатка, г/кг	51,70	135,67	ГОСТ 31675-2012
Зола, г/кг	76,85	129,71	ГОСТ 32933-2014
Валовая энергия, МДж/кг	18,39	15,70	Расчетным методом

Из табл. 4 следует, что удельный состав осадка, в сравнении с используемым комбикормом, претерпел следующие изменения: по валовой энергии изменения составили всего 14,6 %, с учетом того, что валовая энергия корма была довольно высокой; больше всего снизилось содержание липидов, которое составило 59,6 %, очевидно, этому способствовало вымывание; существенно возросло содержание клетчатки (на 162,4 %). Изменения по протеину составили 21,4 %. В целом по удельному составу и энергетической ценности собранный и проанализированный осадок может рассматриваться в качестве кормового потенциала для многих животных, занимающих более низкую ступень трофической пирамиды.

Для пересчета, по энергетической ценности, потенциала использования получаемого ихтиогенного осадка в качестве корма для организмов следующего трофического уровня по нашим данным получилась следующая формула:

$$M_k \cdot ВЭ_{рк} \cdot 0,1324 = КП_{ф},$$

где M_k – масса корма для рыб, кг; $ВЭ_{рк}$ – валовая энергия корма для рыб, МДж/кг; 0,1324 – эмпири-

ческий коэффициент пересчета; $КП_{ф}$ – кормовой потенциал осадка, МДж.

Эмпирический коэффициент определен путем пересчета изменений массы и валовой энергии используемого корма по отношению к этим показателям в образовавшемся осадке.

Заключение

В результате проведенного эксперимента был определен количественный и качественный состав отходов, образующихся в процессе выращивания рыб в установках замкнутого оборотного водоснабжения. Полученные результаты формализованы, предложен коэффициент пересчета, позволяющий оценивать ихтиогенный осадок с позиций его энергетической ценности в качестве кормового потенциала для мультикультуральных искусственных биологических систем. Это позволит определять состав и рассчитать количество (в соответствии с кормовой базой) организмов, перспективных для включения в технологические режимы интегрируемого культивирования.

Список источников

1. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в

новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. Копенгаген, 2010. 74 с.

2. *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 288 p.

3. Львов Ю. Б. Рациональная жадность // Рациональная эксплуатация биоресурсов: проблемы и возможности в контексте целей устойчивого развития ООН: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Москва, 19 марта 2018 г.). М.: Перо, 2018. С. 241–244.

4. Корягина Н. Ю., Львов Ю. Б. Сбалансированная интегрированная биологическая система и методы рас-

чета ее структуры и состава // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2018. № 6 (149). С. 50–53.

5. ГОСТ Р 53225-2008. Материалы геотекстильные. URL: [https:// docs.cntd.ru/document/1200073599](https://docs.cntd.ru/document/1200073599) (дата обращения: 17.03.2021).

6. Фильтрация и многократное использование воды рыбоводными хозяйствами. URL: aquafeed.ru/filtratsiya_vody (дата обращения: 17.03.2021).

References

1. Brainballe Ia. *Rukovodstvo po akvakul'ture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniia. Vvedenie v novye ekologicheskie i vysokoproduktivnye zamknutyie rybovodnye sistemy* [Guidelines for aquaculture in RAS. Introduction to new ecological and highly productive recirculating hatchery systems]. Kopenhagen, 2010. 74 p.

2. *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 288 p.

3. L'vov Yu. B. Ratsional'naia zhadnost' [Rational greed]. *Ratsional'naia ekspluatatsiia bioresursov: problemy i vozmozhnosti v kontekste tselei ustoychivogo razvitiia OON: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Moskva, 19 marta 2018 g.)*. Moscow, Pero Publ., 2018. Pp. 241-244.

4. Koriagina N. Yu., L'vov Yu. B. Sbalansirovannaia integrirovannaia biologicheskaiia sistema i metody rascheta ee struktury i sostava [Balanced integrated biological system and methods for calculating its structure and composition]. *Rybovodstvo i rybnoe khoziaistvo*, 2018, no. 6 (149), pp. 50-53.

5. ГОСТ Р 53225-2008. Материалы геотекстильные [GOST R 53225-2008. Geotextile materials]. Available at: [https:// docs.cntd.ru/document/1200073599](https://docs.cntd.ru/document/1200073599) (accessed: 17.03.2021).

6. Фильтрация и многократное использование воды рыбоводными хозяйствами [Filtration and reuse of water by fish farms]. Available at: aquafeed.ru/filtratsiya_vody (accessed: 17.03.2021).

Статья поступила в редакцию 12.04.2021; одобрена после рецензирования 02.03.2022; принята к публикации 15.03.2022
The article is submitted 12.04.2021; approved after reviewing 02.03.2022; accepted for publication 15.03.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Юрий Борисович Львов – кандидат сельскохозяйственных наук; старший научный сотрудник, заведующий лабораторией биосинергетики и интеграции технологий; Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста; Московская обл., пос. им. Воровского, ул. Сергеева, 24; Yurilv@yandex.ru

Yuriy B. Lvov – Candidate of Agricultural Sciences; Senior Researcher, Head of the Laboratory of Biosynergetics and Technology Integration; Russian Research Institute of Integrated Fish Breeding – Branch of the Federal Science Center for Animal Husbandry named after academy Member L. K. Ernst; Moscow region, village named after Vorovsky, st. Sergeeva, 24; Yurilv@yandex.ru

Григорий Андреевич Шишанов – старший научный сотрудник лаборатории биосинергетики и интеграции технологий; Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста; Московская обл., пос. им. Воровского, ул. Сергеева, 24; grigoriy.rock@mail.ru

Grigoriy A. Shishanov – Senior Researcher of the Laboratory of Biosynergetics and Technology Integration; Russian Research Institute of Integrated Fish Breeding – Branch of the Federal Science Center for Animal Husbandry named after academy Member L. K. Ernst; Moscow region, village named after Vorovsky, st. Sergeeva, 24; grigoriy.rock@mail.ru

