

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-76-80

И.Е. Липпо

Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», пос. Воровского, Московская обл., Россия

✉ lippoir@bk.ru

Поступила в редакцию:
17.08.2023

Одобрена после рецензирования:
10.01.2024

Принята к публикации:
30.01.2024

Сравнительная оценка количественно-качественного состава зооперифитона на поверхности ряски (*Lemna minor*), выращенной в установке замкнутого водоснабжения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Количественно-качественный состав организмов, поселяющихся на плавающих макрофитах, зависит от наличия в воде питательных веществ, необходимых для их жизни, таких как продукты жизнедеятельности рыб, остатки кормов и экскременты.

Методы. Корни и листцы ряски (*Lemna minor*) выступают как субстрат для прикрепления и развития гидробионтов, а они, в свою очередь, потребляют в качестве источников питания органические вещества, тем самым снижая количество загрязняющих веществ в воде. В связи с этим представляется актуальным исследование фаунистического состава, частоты встречаемости и плотности различных таксономических групп организмов, поселяющихся на листьях ряски, при интегрированном выращивании водных растений и объектов аквакультуры.

Результаты. Результаты исследования показали, что зооперифитон ряски характеризуется высоким разнообразием фаунистического комплекса. На поверхности водных макрофитов (*Lemna minor*), выращенных интегрированным методом совместно с карпами, количество гидробионтов в два раза больше, чем на ряске, выращенной в контрольной установке замкнутого водоснабжения, в которой отсутствовали рыбы. Экскременты рыб и размытые остатки кормов создали питательный субстрат для развития гидробионтов.

Всего было обнаружено 22 вида организмов, заселяющих ряску в опытном варианте, среди которых доминировали ракушковые раки, субдоминантами оказались коловратки, встречались также хирономиды, веслоногие раки и нематоды. Зооперифитон ряски в контрольном варианте состоял из 12 таксонов гидробионтов, чаще всего попадались простейшие и ракушковые раки, встречались протисты, веслоногие раки и олигохеты. Наибольшее фаунистическое разнообразие зафиксировано на ряске в опытном варианте.

Ключевые слова: ряска, карп, УЗВ, гидробиология, зоопланктон, гидробионты

Для цитирования: Липпо И.Е. Сравнительная оценка количественно-качественного состава зооперифитона на поверхности ряски (*Lemna minor*), выращенной в установке замкнутого водоснабжения. Аграрная наука. 2024; 379(2): 76–80.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-76-80>

©Липпо И.Е.

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-76-80

Irina E. Lippo

The All-Russian Scientific Research Institute of Integrated Fish Farming is a branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, village Vorovsky, Moscow region, Russia

✉ lippoir@bk.ru

Received by the editorial office:
17.08.2023

Accepted in revised:
10.01.2024

Accepted for publication:
30.01.2024

Comparative assessment of the quantitative and qualitative composition of zooperiphyton on the surface of duckweed (*Lemna minor*) grown in a recirculating water supply system

ABSTRACT

Relevance. The quantitative and qualitative composition of organisms settling on floating macrophytes depends on the presence in the water of nutrients necessary for their life, such as fish waste products, food residues and excrement.

Methods. The roots and leaves of duckweed (*Lemna minor*) act as a substrate for the attachment and development of aquatic organisms. And they, in turn, consume organic substances as food sources, thereby reducing the amount of pollutants in the water. In this regard, it seems relevant to study the faunal composition, frequency of occurrence and density of various taxonomic groups of organisms settling on duckweed leaves during the integrated cultivation of aquatic plants and aquaculture objects.

Results. The results of the study showed that the zooperiphyton of duckweed is characterized by a high diversity of the faunal complex. On the surface of aquatic macrophytes (*Lemna minor*), grown by the integrated method together with carps, the number of hydrobiants is twice as large as on duckweed grown in a control installation of a closed water supply, in which there were no fish. Fish excrement and washed-out food residues created a nutrient substrate for the development of aquatic organisms.

A total of 22 species of organisms were found inhabiting duckweed in the experimental variant, among which barnacle crustaceans dominated, rotifers were subdominants, and chironomids, copepods, and nematodes were also found. The zooperiphyton of duckweed in the control version consisted of 12 taxa of hydrobiants, most often there were protozoa and barnacles, there were protists, paddlefoot crayfish and oligochaetes. The greatest faunal diversity was recorded on duckweed in the experimental version.

Key words: duckweed, carp, RAS, hydrobiology, zooplankton, hydrobiants

For citation: Lippo I.E. Comparative assessment of the quantitative and qualitative composition of zooperiphyton on the surface of duckweed (*Lemna minor*) grown in a recirculating water supply system. Agrarian science. 2024; 379(2): 76–80 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-76-80>

© Lippo I.E.

Введение/Introduction

Водные макрофиты, часто также называемые гидрофитами, являются ключевыми компонентами водных экосистем [1, 2]. Как первичные продуценты, они лежат в основе пищевых цепей, а их стебли, корни и листья служат субстратом для перифитона и убежищем для многочисленных беспозвоночных и рыб [3].

При выращивании макрофитов в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) можно решать сразу несколько задач. Во-первых, снижается нагрузка на биофильтр и уменьшается количество растворенных органических веществ, так как растения используют часть веществ для своего питания. Во-вторых, получается питательная растительная продукция, которая может быть использована в кормовых целях [4–6].

В то же время различные гидробионы, заселяющие плавающие на поверхности макрофиты, потребляют в качестве источников питания органические и некоторые неорганические вещества, тем самым дополнительно снижая количество загрязняющих веществ в воде [7].

На количественный и качественный состав трофической структуры экологических сообществ влияют субстрат и объекты, выращиваемые в УЗВ, концентрация загрязняющих веществ в обрабатываемой воде, а также гидрохимические показатели [8].

Известно, что свободно плавающие на поверхности воды растения, к которым относятся рясковые, характеризуются большим обилием гидробионтов [9], в отличие от растений, полностью погруженных в воду [10]. На поверхности макрофитов создаются благоприятные условия для обитания большого количества организмов разнообразной трофической принадлежности [11].

Помимо прочего, рясковые способны извлекать и накапливать биогены из отработанной воды [12, 13]. Известен опыт очистки сточных вод (полученных из метантенка) благодаря использованию ряски малой *Lemna minor*. Следует отметить, что ряска малая эффективно удаляет из водной среды азот и фосфор, включая их в собственный процесс метаболизма [14–16].

В дополнение к очистке сточных вод образующаяся таким образом биомасса содержит большое количество питательных веществ, представляющих кормовую ценность [17, 18]. Биомасса ряски малой может использоваться в качестве дорогостоящей кормовой добавки для рыб и других объектов аквакультуры из-за высокого содержания белка [19, 20].

До настоящего времени в кормопроизводстве использовалась рыбная мука, но в связи с ее подорожанием и возникшим дефицитом актуальным становится вопрос ее замены на иные компоненты, богатые белком, одним из которых может быть ряска малая (*Lemna minor*) [21, 22].

Цель работы — изучить разнообразие сообществ организмов на агрегациях водных растений — ряски малой (*Lemna minor*) — в установках замкнутого водоснабжения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: установить таксономический состав зооперифитонных организмов, заселяющих ряску малую в УЗВ; определить частоту встречаемости гидробионтов на ряске; исследовать плотность заселенности ряски малой различными таксономическими группами; определить влияние отходов от выращивания карпа на качественный и количественный состав гидробионтов, заселяющих ряску.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Исследование проведено на базе Всероссийского научно-исследовательского института интегрированного рыбоводства (ВНИИР) в лаборатории разведения рыб и интеграции технологий в аквакультуре. Гидробиологические материалы получены из двух УЗВ в мае 2023 года.

Опытная УЗВ состояла из двух рыбоводных емкостей и биофильтра объемом 70 л. В первой емкости объемом 100 л находились годовики карпа (*Cyprinus carpio*) в количестве 15 особей средней навески 172,5 г. Рыбы получены на экспериментальной базе ВНИИР в условиях естественного нереста в 2022 году. Состояние карпов соответствовало рыбоводным нормам.

Кормление производилось автокормушкой два раза в сутки — по 7 г корма за раз. Корм, используемый в эксперименте Coppens Intensiv 3mm (Alltech Coppens, Германия). Состав корма: пшеница, мука из домашней птицы, соя очищенная экстрагированная прожаренная, мука рыбная, экстракт семян подсолнечника, рыбий жир, лецитин. Компоненты: сырой протеин — 40%, сырой жир — 10%, клетчатка — 2,1%, зола — 8%, фосфор — 1,34%, кальций — 1,4%.

Из первого аквариума вода подавалась насосом скостью 10 л/мин в бассейн 70 л, в котором выращивалась ряска малая (*Lemna minor*), затем вода поступала в биофильтр и, проходя систему очистки, возвращалась в первую емкость. В контрольной УЗВ было два блока — бассейн с ряской и биофильтр тех же объемов. В обеих системах над бассейнами с ряской были установлены фитосветильники мощностью 20 Вт, освещение производилось 12 часов в сутки.

Пробы зооперифитона, заселяющего корни макрофита ряски малой (*Lemna minor*), отбирались путем промывания ряски водой. Затем фиксировались 4,0%-ным раствором формалина (АО «Пигмент», Россия) и отстаивались 10 суток. По истечении указанного времени вода над осадком выливалась с помощью сифона (резиновой трубы, затянутой снизу мельничным газом № 77). Дальнейший анализ осуществлялся путем микрокопирования (микроскоп биологический «Микромед 1», Россия) под покровным стеклом (увеличение объектива 40 \times /0,65).

Уровень кислорода и температуру воды определяли термооксиметром от фирмы Aktakom ATE-3012 (Россия), водородный показатель pH измерялся pH-метром марки «Аквилон pH-410» (Россия), а общая минерализация воды — портативным тестером качества воды TDS-3 (Китай). Группа азота, фосфаты и железо определяли тестами НИЛПА (Россия).

Для установления таксономической принадлежности организмов использовался определитель¹ под редакцией С. Я. Цалолихина. Количественная обработка проб производилась по стандартной методике². Для статистической и количественной обработки данных использовались программы Microsoft Excel (США) и ImageJ (США).

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

В ходе исследования обнаружено 22 таксона зооперифитонных гидробионтов, обитающих на листьях ряски из опытной УЗВ № 1, среди них: 2 таксона простейших, 11 таксонов коловраток, таксон ракушковых

¹ Цалолихин С. Я. (ред.). Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1994; 1: 395.

² Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова). Тольятти: СамНЦ РАН. 2005; 404.

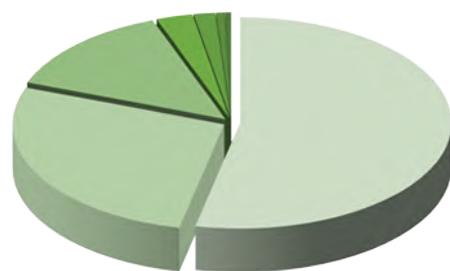
раков, 3 таксона веслоногих раков, таксон олигохет, 2 таксона хирономид и таксон нематод (рис. 1).

Доминировали по численности ракушковые ракчи (83 413 экз/кг ряски, частота встречаемости — 54,28%). Субдоминантами оказались коловратки (42 613 экз/кг ряски, частота встречаемости — 27,73%). Довольно многочисленными оказались простейшие (21 458 экз/кг, частота встречаемости — 13,96%). Общая численность организмов, заселяющих ряски в опытном УЗВ, составила 153 680 экз/кг (табл. 1).

На поверхности ряски из контрольной УЗВ № 2 обнаружено 12 таксонов зооперифитонных организмов, из

Рис. 1. Частота встречаемости гидробионтов, заселяющих ряски малую в опытном варианте

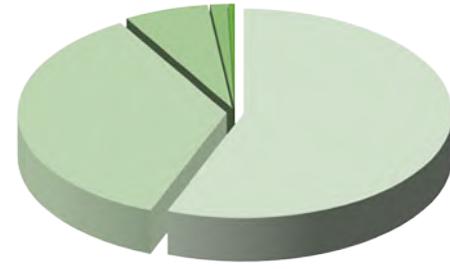
Fig. 1. The frequency of occurrence of hydrobionts inhabiting duckweed in the experimental



■ Ostracoda (54,28%) ■ Rotifera (27,73%) ■ Protozoa (13,96%)
 ■ Copepoda (2,85%) ■ Oligochaeta (1,67%) ■ Chironomidae (0,69%)
 ■ Nematoda (0,49%)

Рис. 2. Частота встречаемости гидробионтов, заселяющих ряски малую в контролльном варианте

Fig. 2. The frequency of occurrence of hydrobionts inhabiting duckweed in the control variant



■ Ostracoda (55,76%) ■ Protozoa (35,52%)
 ■ Rotifera (6,57%) ■ Oligochaeta (1,34%)
 ■ Copepoda (0,49%) ■ Heliozoa (0,13%)

них: 2 таксона простейших, таксон протистов, 4 таксона коловраток, таксон ракушковых раков, таксон веслоногих раков и таксон олигохет.

Доминировали по численности ракушковые ракчи (52 693 экз/кг, частота встречаемости — 55,76%), субдоминантами оказались простейшие — инфузории (26 473 экз/кг, частота встречаемости — 28,02%). Общая численность организмов, заселяющих ряски в контролльном УЗВ, составила 94 493 экз/кг (рис. 2).

Для определения фоновых параметров, при которых проводился эксперимент, были установлены гидрохимические показатели. В двух УЗВ поддерживался оптимальный гидрохимический режим. В УЗВ № 1 было незначительное содержание солей азотистой кислоты NO_2^- и NO_3^- , а в УЗВ № 2 аналогичные отсутствовали. В обеих системах присутствовали фосфаты и ионы общего железа. Статистическая обработка данных представлена в таблице 2.

Таблица 2. Гидрохимические показатели в установках замкнутого водоснабжения
Table 2. Hydrochemical indicators in recirculating water supply installations

Показатели	Опыт УЗВ № 1					Контроль УЗВ № 2				
	$M \pm m$	σ	Cv	min	max	$M \pm m$	σ	Cv	min	max
NO_2^- , мг/л	0,1±0,027	0,061	61,237	0,05	0,2	0±0	0	0	0	0
NO_3^- , мг/л	3±0,949	2,121	70,711	0	5	0±0	0	0	0	0
NH_4^+ , мг/л	0,03±0,009	0,021	70,711	0	0,05	0±0	0	0	0	0
PO_4^{3-} , мг/л	0,8±0,202	0,453	56,596	0	1,1	1,1±0,245	0,548	49,793	0,5	2
Fe , мг/л	0,1±0,016	0,035	35,355	0,05	0,15	0,1±0,035	0,079	79,057	0	0,2
O_2 , мг/л	7,38±0,254	0,567	7,689	6,8	8,2	11,4±0,592	1,323	11,604	10,1	13,5
pH	7,5±0,411	0,919	12,247	6,75	9	6,75±0,112	0,250	3,704	6,5	7
TDS, мг/л	247±34,631	77,437	31,351	168	362	452±65,086	145,537	32,198	295	667
°C	23,3±0,631	1,411	6,054	22	25,6	22,6±0,212	0,474	2,099	21,8	23

Примечание: M — среднее, $\pm m$ — стандартная ошибка, s — стандартное отклонение, Cv — коэффициент вариации, Max — максимальное значение, Min — минимальное значение.

При сравнении коэффициентов вариации показано значительное отличие по группе азота, что явилось следствием отсутствия ихтионагрузки в контрольном варианте эксперимента. О повышенной нагрузке системы в опытном варианте также свидетельствуют показатели кислорода, минимальное значение которого составило 6,8 мг/л в опыте, а максимальное — не превышало даже минимального значения в контроле (8,2 мг/л в опытном, 10,1 мг/л в контролльном). Наименьшие отличия наблюдались по количеству фосфатов, они присутствовали в обеих системах. Отличие в среднем за весь период опыта — 0,3 мг/л.

Коэффициент вариации по всем исследуемым параметрам, за исключением кислорода, водородного показателя (рН) и температуры, был выше 30%, что указывало на высокие значения изменчивости гидрохимических показателей в системе.

Наличие питательных веществ в воде, о чем свидетельствует более высокое содержание азотистых

соединений в опытном УЗВ, могло способствовать большему развитию гидробионтов на ряске малой по сравнению с контролем.

Выводы/Conclusion

Таким образом, были установлены частота встречаемости гидробионтов и плотность заселенности ряски малой различными группами организмов. Количество зоопарифитона на ряске, выращенной совместно с рыбами в опытной УЗВ, в два раза превышало количество гидробионтов, поселившихся на ряске, выращенной в контрольной установке.

Таксономический состав гидробионтов был схож в обоих вариантах, так как видовое разнообразие обусловлено набором организмов, привнесенных вместе с ряской из естественного водоема в аквариум, а отходы жизнедеятельности рыб и органические соединения в воде в опытном варианте создали основу для кормовой базы гидробионтов, заселяющих корни и листья ряски малой.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках госзадания 124020200032-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Siddiqui A., Jahan S., Adnan M., Ashraf S.A., Singh R. Macrophytes and Their Role in Wetland Ecosystems. *Aquatic Macrophytes: Ecology, Functions and Services*. 2023; 119–138. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3822-3_6
2. Rejmankova E. The role of macrophytes in wetland ecosystems. *Journal of Ecology and Field Biology*. 2011; 34: 333–345. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2011.044>
3. Timms R.M., Moss B. Prevention of growth of potentially dense phytoplankton populations by zooplankton grazing, in the presence of zooplanktivorous fish, in a shallow wetland ecosystem. *Limnol Oceanogr*. 1984; 29: 472–486. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0472>
4. Липпо И.Е. Установки замкнутого водоснабжения в аквакультуре. В сборнике: современное состояние и перспективы развития кормопроизводства и рационального кормления животных. 2022; 300–303. EDN RUNFDJ
5. Зыкина Е.А. Установки замкнутого водоснабжения — будущее современной аквакультуры. *Сурский вестник*. 2023; 4(24): 14–19. DOI: 10.36461/2619-1202_2023_04_003. — EDN CGIGAS
6. Жолдасбаев А.М. Интенсивный метод выращивания карпа в установках замкнутого водоснабжения. *Мировая наука*. 2020; 10(43): 26–29. EDN XEKKVC
7. Шувалов М.В., Стрелков А.К., Шувалов Р.М. Исследования частоты встречаемости гидробионтов в биопленке дисковых биофильтров при очистке бытовых сточных вод. *Градостроительство и архитектура*. 2011; 1(1): 84–90. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2011.01.17>
8. Липпо И.Е., Бригда А.В. Фауна биофильтра в установке замкнутого водоснабжения. *Ветеринария и кормление*. 2023; (4): 55–57. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-4-16>
9. Кононцев С.В., Саблий Л.А., Греховская Ю.Р. Использование макрофитов для очистки воды УЗВ от соединений азота. *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси*. 2015; 31: 85–91. <https://elibrary.ru/vcjma>
10. Маркевич Р.М., Гребенщикова И.А., Роденко А.В., Вострова Р.Н. Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе. *Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология*. 2013; (4): 219–223. <https://elibrary.ru/sobolv>
11. Корип V.G., Bondarenko L.V., Timofeev V.A., Podzorova D.V., Makarov M.V., Kovaleva M.A. Macrozoopelagic phyton of macrophytes of the shallow waters of the Kerch Strait and the coastal zone of the Taman Peninsula. *Ekosistemy*. 2022; 32: 106–120.
12. Чачина С.Б., Филиппенко А.В., Чачина Е.П. Разработка эффективных методов доочистки нефтесодержащих сточных вод с использованием высших водных растений. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2022; (2): 148–152. <https://elibrary.ru/taonwm>
13. Калайда М.Л., Бабикова В.В. Особенности видового состава перифитона биофильтра на разных глубинах. *XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. Материалы конференции*. Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2022; 2: 383–386. <https://elibrary.ru/lsqhop>
14. Копиев V.G., Bondarenko L.V., Timofeev V.A., Podzorova D.V., Makarov M.V., Kovaleva M.A. Macrozoopelagic phyton of macrophytes of the shallow waters of the Kerch Strait and the coastal zone of the Taman Peninsula. *Ekosistemy*. 2022; 32: 106–120.
15. Чачина С.Б., Филиппенко А.В., Чачина Е.П. Development of effective methods of post-treatment of oily wastewater using higher aquatic plants. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistica*. 2022; (2): 148–152 (in Russian). <https://elibrary.ru/taonwm>
16. Калайда М.Л., Бабикова В.В. Peculiarities of species composition of biofilter periphyton at different depths. *XXV All-Russian postgraduate and master's scientific seminar dedicated to the day of the power engineer. Proceedings*. Kazan: Kazan State Power Engineering University. 2022; 2: 383–386 (in Russian). <https://elibrary.ru/lsqhop>

14. Рахмонов В.Н. Применение ряски в очистке сточных вод скотоводческих ферм Самаркандской области. *Вестник науки*. 2022; 4(4): 171–175. <https://elibrary.ru/jqmwtc>
15. Петухова Д.Е., Бахирева О.И. Изучение возможности применения макрофитов для очистки природных вод от ионов стронция. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2022; (2): 116–119. <https://elibrary.ru/cqyqib>
16. Wassila S., Megateli S. Evaluation of *Lemna minor* phytoremediation performance for the treatment of dairy wastewater. *Water Practice and Technology*. 2023; 18(5): 1138–1147. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.074>
17. Рустамова С.Р. Экологическая характеристика и использование водных растений (*Lemna minor* L. и *Pistia stratiotes* L.) в качестве ресурса при очистке сточных вод в условиях Республики Каракалпакстан. *Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и просвещение. 2022; 9–10. <https://elibrary.ru/vsdzdg>
18. Hasaballah A.F., Hegazy T.A., Elemam D.A. Performance evaluation of *Pistia stratiotes* and *Lemna minor* for wastewater phytoremediation: optimum conditions for pilot-scale. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2024; 21(1): 467–480. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05001-9>
19. Строкаль В.П., Макаренко Н.А., Чорна Т.С., Ковпак А.В. Экологическое оценивание токсичности соединений азота для водных организмов с помощью биотеста *Lemna minor* L. *Наукові доповіді НУБІЛ України*. 2021; (6): 2 (на укр. яз.). [http://doi.org/10.31548/dopovid2021.06.002](https://doi.org/10.31548/dopovid2021.06.002)
20. Kitamura R.S.A. et al. The phytoremediation capacity of *Lemna minor* prevents deleterious effects of anti-HIV drugs to nontarget organisms. *Environmental Pollution*. 2023; 329: 121672. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121672>
21. Елизарова А.С., Тюлин Д.Ю., Шишанов Г.А., Липпо И.Е., Бригда А.В. Методы биоинкапсуляции артемии, используемые в кормлении осетровых рыб. *Ветеринария и кормление*. 2023; (3): 34–37. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-3-8>
22. Шишанов Г.А., Елизарова А.С., Бригда А.В. Оценка продукционных свойств экспериментального корма у молоди русского осетра. *Современное состояние и перспективы развития кормопроизводства и рационального кормления животных: сборник научных материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. 2022; 104–108. EDN FUMOPV
14. Rakhmonov V.N. The use of duckweed in wastewater treatment of cattle farms of the Samarkand region. *Vestnik nauki*. 2022; 4(4): 171–175 (in Russian). <https://elibrary.ru/jqmwtc>
15. Petukhova D.E., Bakhireva O.I. Studying the possibility of using macrophytes for the purification of natural waters from strontium ions. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2022; (2): 116–119 (in Russian). <https://elibrary.ru/cqyqib>
16. Wassila S., Megateli S. Evaluation of *Lemna minor* phytoremediation performance for the treatment of dairy wastewater. *Water Practice and Technology*. 2023; 18(5): 1138–1147. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.074>
17. Rustamova S.R. Ecological characteristics and use of aquatic plants (*Lemna minor* L. and *Pistia stratiotes* L.) as a resource for wastewater treatment in the conditions of the Republic of Karakalpakstan. *Modern science: topical issues, achievements and innovations. Collection of articles of the XXVI International Scientific and Practical Conference*. Penza: Nauka i prosvetshchenie. 2022; 9–10 (in Russian). <https://elibrary.ru/vsdzdg>
18. Hasaballah A.F., Hegazy T.A., Elemam D.A. Performance evaluation of *Pistia stratiotes* and *Lemna minor* for wastewater phytoremediation: optimum conditions for pilot-scale. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2024; 21(1): 467–480. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05001-9>
19. Strokal V.P., Makarenko N.A., Chorna T.S., Kovpak A.V. Ecological assessment of the toxicity of nitrogen compounds for aquatic organisms using the *Lemna minor* L. biotest. *Scientific Reports of NULES of Ukraine*. 2021; (6): 2 (in Ukrainian). [http://doi.org/10.31548/dopovid2021.06.002](https://doi.org/10.31548/dopovid2021.06.002)
20. Kitamura R.S.A. et al. The phytoremediation capacity of *Lemna minor* prevents deleterious effects of anti-HIV drugs to nontarget organisms. *Environmental Pollution*. 2023; 329: 121672. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121672>
21. Elizarova A.S., Tyulin D.Yu., Shishanov G.A., Lippo I.E., Brigida A.V. Bioencapsulation methods of artemia used in feeding sturgeon fish. *Veterinaria i kormlenie*. 2023; (3): 34–37 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-3-8>
22. Shishanov G.A., Elizarova A.S., Brigida A.V. Assessment of the production properties of experimental food in juvenile Russian sturgeon. Current state and prospects for the development of feed production and rational feeding of animals: a collection of scientific materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. 2022; 104–108 (in Russian). EDN FUMOPV

ОБ АВТОРАХ

Ирина Евгеньевна Липпо

младший научный сотрудник отдела разведения рыб и интеграций технологий в аквакультуре
lippoir@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0215-126X>

Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста»,
ул. Сергеева, 24, пос. им. Воровского, Ногинский р-н,
Московская обл., 142460, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Irina Evgenievna Lippo

Junior researcher, department of Fish Breeding and Technology Integration in Aquaculture
lippoir@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0215-126X>

The All-Russian Scientific Research Institute of Integrated Fish Farming is a branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst,
24 Sergeyev Str., Vorovsky settlement, Noginsk district, Moscow region, 142460, Russia