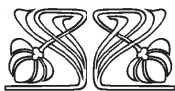
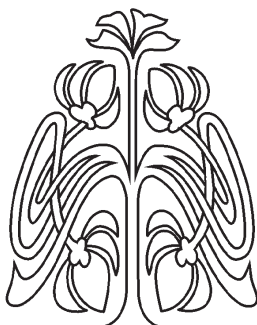
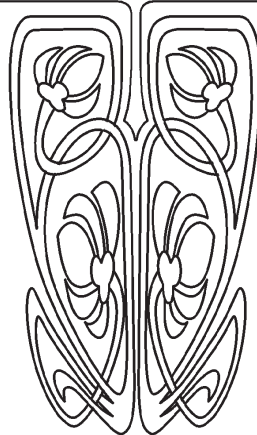




БИОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 3. С. 302–312

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 3, pp. 302–312

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-3-302-312>

Научная статья
УДК 574.523:574.622

Питание тилляпии мозамбикской (*Oreochromis mossambicus*) бактериально-водорослевыми матами в водоёме-охладителе Нововоронежской АЭС

И. А. Мухин¹✉, Н. Л. Болотова¹, М. Ю. Воронин², О. Г. Лопичева¹,
М. Д. Петухова¹, И. С. Подольский¹

¹Вологодский государственный университет, Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Мухин Иван Андреевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и химии, ivmukhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5654-4643>

Болотова Наталья Львовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии и химии, bolotova.vologda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-2818>

Воронин Максим Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры морфологии и экологии животных, voroninmj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7992-4502>

Лопичева Ольга Георгиевна, старший преподаватель кафедры биологии и химии, lopichevaog@vogu35.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9639-1071>

Петухова Мария Денисовна, магистрант кафедры биологии и химии, petuchovamd@vogu35.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6594-2224>

Подольский Иван Сергеевич, магистрант кафедры биологии и химии, podolskiyis@vogu35.ru

Аннотация. Формирование устойчивых перифитонных сообществ является нежелательным для функционирования гидротехнических систем всех типов, особенно систем водного охлаждения. Для борьбы с развитием биологических обрастаний в водоемах-охладителях атомных станций широко используют виды-биомелиораторы, к которым относится тилляпия мозамбикская. В водоём-охладитель Нововоронежской атомной электростанции она занесена непреднамеренно, однако сформировала там устойчивую и многочисленную популяцию. Кормовая база для рыбного населения в водоеме-охладителе обеднена в связи со сложными (до экстремальных) условиями среды, что приводит к конкуренции за кормовые объекты. В этих условиях тилляпия переходит на питание бактериально-водорослевыми матами, обильно развивающимися в тепловодной части водоема. На участках, поеденных тилляпией, биомасса обрастания сокращается в полтора раза и уменьшается содержание минеральных веществ. Изучение содержимого кишечника тилляпии позволило подтвердить эти наблюдения, поскольку в пищевом комке обнаруживались представители фитоперифитона: цианопрокариоты, диатомовые и зеленые водоросли, для которых удалось установить даже таксономическую принадлежность. Результаты исследований позволили уточнить механизм интеграции этого южного вида в ихтиоценоз водоёма и её положительную роль в сокращении биообрастания.

Ключевые слова: тилляпия мозамбикская, *Oreochromis mossambicus*, бактериально-водорослевые маты, биообрастание, водоем-охладитель, вселенец



Для цитирования: Мухин И. А., Болотова Н. Л., Воронин М. Ю., Лопичева О. Г., Петухова М. Д., Подольский И. С. Питание тилапии мозамбикской (*Oreochromis mossambicus*) бактериально-водорослевыми матами в водоеме-охладителе Нововоронежской АЭС // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 3. С. 302–312. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-3-302-312>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) bacterial-algae mats in the cooling pool of Novovoronezh NPP nutrition

I. A. Mukhin¹✉, N. L. Bolotova¹, M. Yu. Voronin², O. G. Lopicheva¹, M. D. Petukhova¹, I. S. Podol'skiy¹

¹Vologda State University, 15 Lenin St., Vologda 160000, Russia

²Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Ivan A. Mukhin, ivmukhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5654-4643>

Nataliya L. Bolotova, bolotova.vologda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-2818>

Maksim Yu. Voronin, voroninmj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7992-4502>

Ol'ga G. Lopicheva, lopichevaog@vogu35.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9639-1071>

Mariya D. Petukhova, petuchovamd@vogu35.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6594-2224>

Ivan S. Podol'skiy, podolskiyis@vogu35.ru

Abstract. The formation of stable periphyton communities is undesirable for all types of hydrotechnical systems, especially functioning water-cooling systems. To combat the development of biological fouling in the cooling ponds of nuclear power plants bioreclamation species are widely used, which include Mozambican tilapia. It was unintentionally brought into the cooling reservoir of the Novovoronezh nuclear power plant; however, it formed a stable and numerous population there. The food base for the fish population in the cooling pond is depleted due to difficult (sometimes extreme) environmental conditions, which can lead to competition for food items. Under these conditions, tilapia switches to feeding on bacterial-algal mats, which develop abundantly in the warm-water part of the reservoir. In areas eaten by tilapia, the biomass of fouling is reduced by one and a half times and the content of mineral substances decreases. The study of the contents of the intestines of tilapia made it possible to confirm these observations, since representatives of the phytoperiphyton were found in the food bolus: cyanoprokaryotes, diatoms and green algae, for which even a taxonomic affiliation was established. The results of the research made it possible to clarify the mechanism of integration of this southern species into the ichthyocenosis of the reservoir and its positive role in reducing biofouling.

Keywords. mozambican tilapia, *Oreochromis mossambicus*, bacterial-algal mats, biofouling, cooling pond, invader

For citation: Mukhin I. A., Bolotova N. L., Voronin M. Yu., Lopicheva O. G., Petukhova M. D., Podol'skiy I. S. Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) bacterial-algae mats in the cooling pool of Novovoronezh NPP nutrition. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 3, pp. 302–312 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-3-302-312>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Одной из актуальных проблем, связанных с безопасностью функционирования гидросооружений, является биологическое обрастание. Иногда на поверхности сооружений и трубопроводов формируются мощные структуры – бактериально-водорослевые маты. Они активно развиваются в экстремальных условиях – при повышенной температуре, солености и других, так как не испытывают конкуренции со стороны высших животных. Водоем-охладитель Нововоронежской АЭС (НВ АЭС) постоянно принимает подогретые воды со станции, что стимулирует обильное развитие бактериально-водорослевых матов в тепловодной зоне пруда.

Известно, что бактериальная микропленька влияет на адгезию других видов-обрастателей [1, 2]. Впрочем, все авторы предупреждают от широких обобщений, отмечая, что различные виды бактерий по-разному влияют на адгезию различных видов водорослей на различных по-

верхностях. В составе бактериально-водорослевых матов обильно представлены диатомовые водоросли, способные к самостоятельному формированию биопленки в системах технического водоснабжения. С точки зрения функционирования систем рециркуляционного водоснабжения Нововоронежской АЭС, опасность представляют не только размножающиеся в обрастаниях виды, способные мигрировать в систему водоснабжения, но и сами маты, так как в их составе отмечены в качестве базибионта зеленые водоросли рода спиругири. Спиругири сама по себе и вместе со своим эпибиозом способна при отрыве от дна (с помощью газовых вакуолей) вовлекаться в поток циркуляционной воды и формировать влекомые наносы, забивающие просветы труб и элементы конструкций.

Потенциальная опасность биообрастаний для работы оборудования станции определяет необходимость поиска способов борьбы с интенсивным развитием бактериально-водорос-



левых матов в водоёме-охладителе. Наиболее эффективны в этом плане биологические методы, связанные с выеданием обрастаний рыбами-перифитоноедами. В частности, к ним относятся тилипии, которые всеядны и способны соскребать кормовые объекты с поверхностей. Поэтому отмеченное в 2019 г. массовое размножение и ранее не отмечавшегося в водоёме-охладителе и реке Дон вида-вселенца – тилипии мозамбикской *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) может послужить благоприятным обстоятельством для борьбы с биообрастаниями.

Исходя из вышеизложенного, целью работы было изучение питания вселенца – тилипии мозамбикской как потенциального биомелиоратора в водоёме-охладителе НВ АЭС.

В конкретные задачи исследования входило установление доли организмов бактериально-водорослевых матов в питании тилипии и выявление изменения структуры самих обрастаний под воздействием рыб. Это потребовало анализа специфических условий обитания гидробионтов в данном техногенном водоёме, а также исследования особенностей и уровня развития кормовой базы, что влияет на биомелиоративную стратегию питания тилипии.

Материалы и методы

Наливной водоём-охладитель Нововоронежской атомной станции, созданный в пойме реки Дон, является источником технического водоснабжения для систем охлаждения пятого энергоблока АЭС. Водоём расположен на юго-западе от Нововоронежа, в лесостепной климатической зоне. Площадь зеркала пруда составляет 4,9 км², максимальная ширина – 1,9 км, длина – 3,5 км. Средняя глубина – 6,8 м, максимальная – 16 м. Струенаправляющая дамба длиной 2,25 км разделяет водоём на холодноводную и тепловодную части при поступлении сбросных вод. Это определяет выраженный градиент температуры воды по акватории водоёма-охладителя НВ АЭС. Так, в течение 2020 г. в тепловодной части водоёма температура варьировала в пределах +22 – 45 °С, а в холодной части – от +13 °С до +35 °С.

Исследования проводили в летнее и осеннее время в августе–октябре в 2020 и в 2021 гг. Естественная кормовая база изучалась путем отбора проб зоопланктона, а также зообентоса и перифитона. Станции отбора проб охватывали тепловодную и холодноводную части водоёма.

Сбор гидробиологических проб и определение организмов осуществляли по общепринятым методикам [3, 4]. В случае невозможности идентификации организма до вида определение

производилось до наименьшего определяемого таксона. В общей сложности обработано 12 проб зоопланктона, 20 проб перифитона и 16 проб зообентоса.

При сборе и обработке трофологического материала руководствовались общепринятой методикой [3, 5]. Исследование растительного содержимого пищеварительного тракта проводилось объемным методом. Из разведенной пробы помещалась капля в камеру Нажотта (объемом 0,05 мм³). Измеряли, просчитывали и определяли все встреченные водоросли. Вычисляли объем водорослей, приравнивая их к соответствующим геометрическим фигурам. Количество встреченных водорослей пересчитывали на весь пищевой комок.

Анализировалась накормленность рыб, рассчитывались индексы наполнения кишечника, выявлялся пищевой спектр и встречаемость компонентов в питании тилипии разных размерных групп. Общее количество исследованных рыб размерами от 8,8 до 31,1 см составило 40 особей.

Для исследования влияния выедания рыб на сообщества перифитона с глубины 0,5 м в прибрежье холодноводной части водоёма отбирали каменистые обломки со следами объедания. Для анализа были собраны бактериально-водорослевые маты в объединенной и не объединенной частях камней. Срез матов проводился при помощи скальпеля, предварительно была определена площадь срезов. На каждом из камней было проведено по 6 срезов (3 – на поеденных участках, 3 – на нетронутых участках) площадью около 1 см². Определение содержания органических веществ проводилось путём озоления.

Специфика условий обитания в водоёме-охладителе

Техногенный характер водоёма и его активное использование в хозяйственной деятельности приводят к формированию специфических условий среды. К факторам, которые могут ограничивать биоразнообразие и создавать тенденцию формирования сообществ гидробионтов с преобладанием более толерантных видов, относятся высокие значения рН, высокие температуры воды и дефицит кислорода. Водородный показатель выше, чем в природных водоёмах – в течение года постепенно снижается от 9,1 до 8 ед.

Другой жизненно важный показатель – это повышенная температура воды – вплоть до экстремальных значений для обитания многих гидробионтов [6]. Известно, что повышенный температурный режим влияет на изменение видового состава водной растительности, зоопланктона и зообентоса, а также рыб, среди которых начинают доминировать теплолюбивые и эври-



бионтные виды. В то же время положительным фактором для гидробионтов является удлинение вегетационного периода, более быстрое самоочищение воды в холодное время года.

Искусственно создаваемый температурный режим сказывается на растворимости газов: ухудшающийся кислородный режим периодически создает проблемы выживания рыб [7]. В целом содержание растворенного кислорода в водоёме-охладителе НВ АЭС соответствует нормальным показателям для естественных водоёмов. Однако наблюдалось и неблагоприятное снижение концентрации кислорода (около 6 мг/л) в июне и сентябре 2021 г.

Для вселившейся в водоём-охладитель тилапии вышеперечисленные факторы не являются лимитирующими. Это теплолюбивая рыба семейства цихлид из юго-восточной части Африки имеет расширенный температурный диапазон 8–45°C и диапазон естественной температуры 17–35 °C [8–10]. Благоприятным обстоятельством для тилапии рода *Oreochromis* в водоёме-охладителе АЭС является то, что оптимальная температура для этих рыб держится на протяжении 6–7 месяцев. Тилапия также устойчива к дефициту растворенного кислорода и может использовать атмосферный кислород [11].

Важным условием нереста рыб (кроме фитофилов) является состояние грунтов, среди которых от уреза воды преобладают крупнодисперсные пески с примесью ила на глубинах более 5 м. Характер грунтов благоприятен для размножения тилапии, строящей гнезда. В то же время для размножения фитофильных видов рыб лимитирующим фактором является отсутствие погруженной водной растительности, что связано с высокими температурами, выеданием растительноядными рыбами, укреплением берегов плитами. Угнетение растительности усиливает конкуренцию среди рыб, питающихся растительными объектами. В этом отношении тилапия имеет потенциальное конкурентное преимущество, связанное с возможностью питания перифитомом, благодаря особенностям ротового аппарата, позволяющим соскабливать организмы-обрастатели с различных поверхностей, тем более что в водоёме имеется большое количество субстратов, потенциально пригодных для обитания обрастателей. Бактериально-водорослевые маты распространены на бетонных плитах, которыми окантованы берега тепловодной части водоёма, на поверхности крупных валунов струеразделяющей дамбы до глубины 4 м, а также на нескольких затопленных понтонах в холодноводной части.

К приоритетным абиотическим факторам, стимулирующим распространение бактериально-водорослевых сообществ, относятся повышенная температура воды и наличие питательных веществ для их развития в условиях эвтрофирующихся водоёмов-охладителей при поступлении биогенов и органическом загрязнении. Это подтверждают наши исследования состояния зоопланктона, показатели сообщества которого позволяют в целом отнести водоём-охладитель к категории слабозагрязненного мезосапробного. Однако в теплой зоне значение индекса сапробности могло повышаться до 2,6, а появление видов-индикаторов полисапробности отражало увеличение органического загрязнения.

В этом плане важным обстоятельством для вида-вселенца, к которым относится теплолюбивая тилапия, служит ее широкий адаптационный диапазон не только к повышенному температурному режиму водоёма-охладителя, но и другим неблагоприятным факторам, вызываемым органическим загрязнением, включая ухудшение кислородного режима, снижение уровня развития кормовой базы. Последнее компенсируется всеядностью данной рыбы [7–9, 11, 12].

Занятие тилапией биомелиоративной ниши в случае питания обрастаниями определяется не только распространением и обилием этого кормового ресурса, но и встраиванием вселенца в систему пищевых отношений рыбной части сообщества водоёма-охладителя при недостаточном уровне развития кормовой базы. Тем более, что всеядность тилапии, способствующая ее адаптации к кормовым условиям водоёма, в то же время обуславливает и перекрывание трофических ниш с другими представителями его ихтиофауны, усиливающее конкуренцию по линии питания, что препятствует инвазионному процессу [9].

В этом плане следует учитывать ежегодное зарыбление водоёма-охладителя белым толстолобиком *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844). В состав ихтиофауны также входит карп, ранее выпущенный в водоём, и белый амур. К инвазионным видам, проникшим в рассматриваемый искусственный водоём, относятся и многочисленный амурский чебачок *Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846). Факторами, определяющими формирование структуры рыбного населения водоёма-охладителя, служит не только специфика условий техногенной экосистемы, но и наблюдаемые изменения ихтиофауны реки Дон, откуда проникают инвазивные виды [13, 14]. В частности,



предполагают, что амурский чебачок в бассейн реки Дон попал из прудовых хозяйств в результате случайной интродукции при вселении дальневосточных растительноядных рыб.

Следует подчеркнуть, что биомелиоративная роль рыб зависит от численности их популяций, и наблюдаемое возрастание численности тилапии обусловлено ее высокой конкурентоспособностью. Это определяется неприхотливостью данного вселенца к условиям, активной адаптацией к доступным источникам пищи, ранним достижением половой зрелости и способностью размножаться быстро в субоптимальных условиях, благодаря особенностям поведения, связанным с заботой о потомстве. Тилапия в естественной среде обитания часто доживает до 11 лет. Отмечается агрессивность по отношению к другим видам, что также способствует успешной инвазии.

Благодаря эвригалинности и всеядности тилапия стала наиболее популярным объектом мировой и отечественной аквакультуры, спортивного рыболовства, зарыбления искусственных водоёмов и биологической борьбы с вредными растениями и животными [15–18]. Начиная с 50-х гг. прошлого столетия ареал выращивания тилапии стал стремительно расширяться, и в настоящее время ее культивируют более чем в 120 странах [19]. Обширный список зарубежных и отечественных публикаций, связанных с исследованиями тилапии, постоянно пополняется [20].

Результаты и их обсуждение

Анализ кормовой базы рыб водоёма-охладителя

Успех вселения тилапии не только связан с вышеописанными преимуществами толерантного вида в специфических условиях техногенного водоема, но и зависит от состояния и доступности кормовой базы рыб на фоне конкурентных отношений рыб.

Обычно в стоячих прогреваемых водоемах, таких как охладитель, которые быстро эвтрофируются, недоиспользуемыми кормовыми ресурсами для растительноядных рыб являются активно развивающиеся продуценты: фитопланктон и макрофиты. Для всеядной тилапии это служит адекватным кормовым ресурсом, что показано многочисленными исследованиями на других водных объектах. Однако в водоеме-охладителе доступность данного корма ограничена конкурентными отношениями с двумя эффективными биомелиораторами: регулярно вселяемым белым толстолобиком и белым амуром, причем на фоне отсутствия погруженной растительности.

Ниша зоопланктофагов в водоёме-охладителе также освоена представителями достаточно разнообразной ихтиофауны, что лимитирует использование данного кормового ресурса вселенцем-тиляпией. Известно, что зоопланктоном питается молодь всех видов рыб, этот кормовой компонент часто преобладает в пище многочисленных мелких рыб, к которым в водоёме-охладителе относятся уклейка и амурский чебачок. Зоопланктон присутствует в рационе мирных рыб, имеющих смешанное питание.

Обеспеченность рыб данным кормовым ресурсом в водоеме-охладителе определяется зависимостью видового состава зоопланктона от искусственного температурного режима, характеризующегося экстремально высокими температурами в районе сброса вод, резкими их временными и пространственными изменениями и сезонными аномалиями [6]. Установлено значительное изменение видового богатства в различные годы, и в период проведения наших исследований были обнаружены 26 видов зоопланктонов. На уменьшение видового богатства влияет и слабая структурированность акватории при однообразии биотопов открытой воды и отсутствие зарослевой зоны как средообразующего фактора для формирования биоразнообразия зоопланктона. Соответственно, преобладают мелкие лимнофильные эупланктонные формы, незначительна доля крупных фитофильных, фито-лимнофильных и придонно-зарослевых видов, которые обычно создают основу богатой кормовой базы для рыб. Наибольшим разнообразием отличались коловратки, насчитывающие 16 видов, что отражает условия водоёма-охладителя с органическим и повышенным температурным фоном. При высокой температуре воды снижается видовое разнообразие, и в первую очередь из состава зоопланктона выпадают наиболее доступные для питания рыб ветвистоусые ракообразные, которые были представлены всего 5 видами. Среди веслоногих ракообразных преобладает мелкий вид *Thermocyclops oithonoides*, а в осенний период наблюдается закономерное увеличение встречаемости молоди: копепоидитов и науплисов.

Резкие отличия температурного режима в теплой зоне в месте сброса подогретых вод и холодной зоне с гораздо меньшей температурой воды определяют доминирование в них разных массовых видов. Соответственно, уровень развития зоопланктоценозов, включая структуру и количественные показатели, значительно отличаются по акватории. Так, в отдельные периоды в теплой зоне наблюдались массовые скопления



коловраток и циклопов, за счет чего биомасса зоопланктона локально резко возростала до $7,3 \text{ г/м}^3$. В целом биомасса в теплой зоне была гораздо выше, чем в холодной $1,2 \text{ г/м}^3$.

Следует отметить низкий уровень развития зообентоса в рассматриваемом водоеме, что предполагает особенно напряженные отношения в нише бентофагов. Это может касаться обеспеченности пищей немногочисленных карпа, сазана и карася, которые наряду с растительностью и детритом включают в свой рацион донные организмы.

Микрофитобентос хорошо развит только на глубине до 1 метра. Практически не встречается макрофауна на дне тепловодной части глубже бетонной окантовки, где сформировался очень однообразный биотоп, сложенный заиленным песком. Твердые субстраты на глубине лишены фитообрастания из-за отсутствия света. Крайне бедна фауна обитателей приподнятых над дном твердых субстратов водоема, в ней практически не встречаются представители Eumetazoa. Это объясняется высокими температурами воды на большей части акватории водоема в жаркие летние месяцы – выше 30°C . Такие температуры летальны для многих (ракообразные, моллюски, членистоногие) многоклеточных гидробионтов

средней полосы России. Ниже отвала камней струеразделяющей дамбы на дне холодноводной части имеется слой раковин унионид и дрейссен, однако живые двустворчатые моллюски не обнаружены.

К обильному кормовому ресурсу в водоеме-охладителе относятся активно распространяющиеся на различных поверхностях биообрастания. Представленные прикрепленными организмы они избирательно доступны рыбам – перифитоноедам, ротовой аппарат которых позволяет соскребать кормовые организмы с поверхности субстрата. Среди растительноядных рыб, обитающих в водоеме-охладителе, более эффективно может питаться таким способом тилапия, что определило основную стратегию ее пищевого поведения в условиях конкуренции с другими видами.

Обрастания развиваются по-разному в теплой и холодной частях водоёма. Большие массы бактериально-водорослевых матов отмечаются в летний период в тепловодной части, однако этот показатель снижается к осени, тогда как средняя масса наносов в холодноводной части, напротив, растёт. Развитие обрастаний в водоёме-охладителе наблюдается в значительно большем масштабе, чем в р. Дон на аналогичных субстратах (рис. 1).

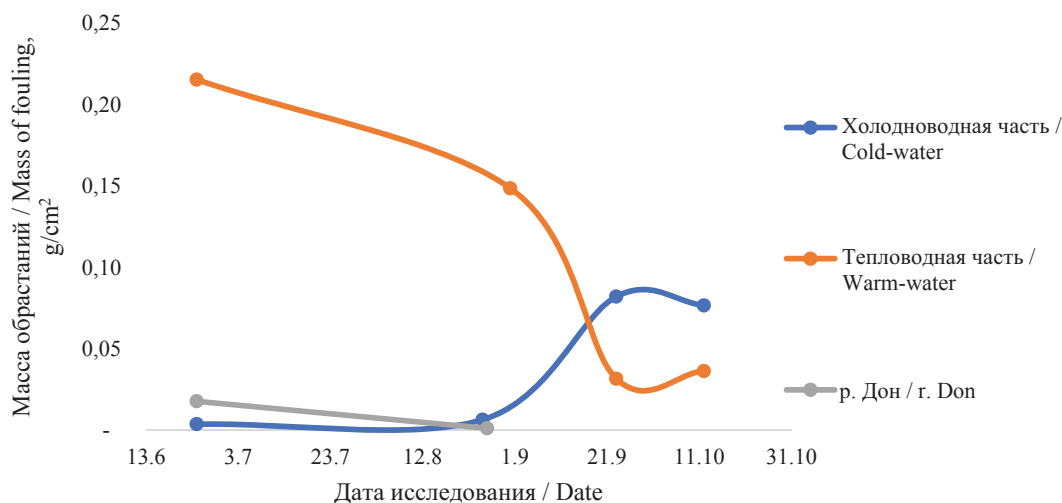


Рис. 1. Развитие обрастаний в холодноводной и тепловодной частях водоёма-охладителя и в р. Дон (цвет online)

Fig. 1. The development of fouling in the cold-water and warm-water parts of the cooling reservoir and in the r. Don (color online)

Что касается структуры обрастаний, они мало отличаются в различных частях водоёма-охладителя и в реке Дон: в летнее время доля органических веществ в них выше, чем в осеннее, что связано с активным вегетированием микробного сообщества. Наибольшее содержание органических веществ в наносах (до

59%, в среднем 46%) фиксируется в тепловодной части водоёма-охладителя, в котором наносы представлены бактериально-водорослевыми матами.

Основу бактериально-водорослевых матов водоёма-охладителя составляют водоросли из 4 отделов: диатомовые (Bacillariophyta), зеленые



(Chlorophyta), цианопрокариоты (Cyanophyta) и эвгленовые (Euglenophyta). Известно, что водоросли-обрастатели не являются типичной кормовой базой для растительноядных рыб, однако в условиях конкуренции некоторые виды способны переходить на данный вид корма.

Наибольшим видовым разнообразием отличались представители зеленых и диатомовых водорослей. Водоросли из отдела эвгленовых встречались единично и не вносили значительного вклада в формирование биомассы фитоперифитонного сообщества.

По биомассе доминировали диатомовые водоросли, на которые приходилось в среднем 48%, тогда как зеленые и цианопрокариоты составляли 25 и 27% соответственно.

В состав доминирующих комплексов альгообрастаний АЭС входили центрические диатомовые водоросли родов: *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*. Среди пеннатных форм диатомей преобладали представители родов: *Achnantes*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Navicula*.

Зеленые водоросли были представлены родами: *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Oocystis*, *Ankistrodesmus*, а цианопрокариоты видами из родов *Oscillatoria* и *Aphanocapsa*.

Питание тилапии

Все исследователи отмечают всеядность тилапии и разнообразие ее рациона, что зависит от кормовой базы водоёмов и напряженности конкурентных отношений с другими видами рыб [7, 8, 19]. Пищевой спектр изменяется по мере роста молоди: личинки питаются фитопланктоном, при рассасывании желточного мешка – мелкими формами зоопланктона, при длине 2 см могут активно потреблять бентосные организмы. Особенно разнообразно питание взрослых особей. Так, среди кормовых компонентов в пище тилапии мозамбикской в водоёмах-охладителях отмечали: водоросли (нитчатые, зеленые, цианопрокариоты, диатомовые, харовые), мягкую высшую растительность вплоть до растений с корнями, разлагающиеся растительные остатки, детрит, планктонные ракообразные, мелкие донные беспозвоночные (черви, личинки хирономид и других насекомых, поденок, жуков), а также мелкие мальки [12]. Часто детрит становится доминирующим комовым компонентом, так образ жизни тилапий связан с непрерывным рытьём и «пережёвыванием» грунта. В связи с этим в их питании особая роль отведена полуразложившимся органическим донным отложениям – именно аминокислоты, содержащиеся в детрите, являются своеобразным ускорителем роста этих рыб. Показано, что при выращивании мозамбикской тилапии

доля детрита в ее питании может составлять до половины содержимого кишечника [16].

Особое внимание с точки зрения борьбы с цветением и обрастаниями привлекает выявленная способность молоди тилапий до 40–80 мм эффективно отфильтровывать и переваривать цианопрокариот [11]. Возможность занятия биомелиоративной ниши в водоёме охладителя НВ АЭС подтверждается данными о том, что крупные взрослые особи могут переходить от всеядности к питанию микропланктоном. При этом они не процеживают воду подобно толстолобикам, поскольку в их глотке формируются мощные слизистые железы, выделяющие вязкую клейкую слизь, слабо растворимую в воде. К ней и прилипают одноклеточные водоросли, составляющие основу пищи этих рыб [11].

В условиях водоёма-охладителя Новоронезской АЭС переходу тилапии на питание бактериально-водорослевыми матами способствует как их обилие, так и конкурентные отношения с другими представителями ихтиофауны, которые до появления вселенца заняли трофические ниши планктофагов, бентофагов и хищников.

Наши исследования подтвердили стратегию питания тилапии, использующей адаптационные возможности ротового аппарата для объедания обрастаний и встраивание в систему пищевых отношений рыбной части сообщества через мало осваиваемые ресурсы другими рыбами. Этому также способствует преимущественное освоение тилапией тепловодной зоны с наибольшим развитием бактериально-водорослевых матов, которую летом при очень высоких температурах избегают остальные представители ихтиофауны водоёма-охладителя.

Результаты изучения питания тилапии в 2020 г. показали, что более половины рыб размером 8,8–12,8 см потребляли микрообрастания, включавшие цианопрокариоты, зеленые и диатомовые водоросли (рис. 2). У всех исследованных особей в кишечном тракте был обнаружен детрит, который составлял от 16,6 до 98,5 % его содержимого. В питании большинства (92%) рыб также присутствовали растительные остатки, доля которых варьировала от 0,5 до 25,4% от массы содержимого кишечника. В пищевом спектре тилапий отмечается достаточно высокая встречаемость (83%) мелких придонных беспозвоночных животных.

Помимо кормовых компонентов, в кишечном тракте половины исследованных рыб обнаружен песок, иногда занимавший до 46% содержимого кишечника, что отражает характер придонного питания тилапии (рис. 3).

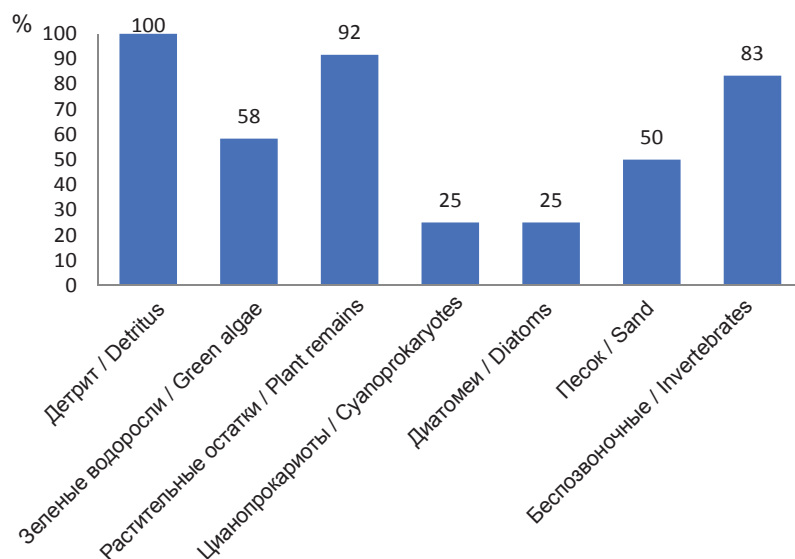


Рис. 2. Встречаемость компонентов (%) в пище тиляпии мозамбикской в тепловодной зоне водоёма-охладителя Нововоронежской АЭС (сентябрь 2020 г.)
 Fig. 2. Occurrence of components (%) in the food of Mozambique tilapia in the warm-water zone of the cooling pond of the Novovoronezh NPP (September 2020)

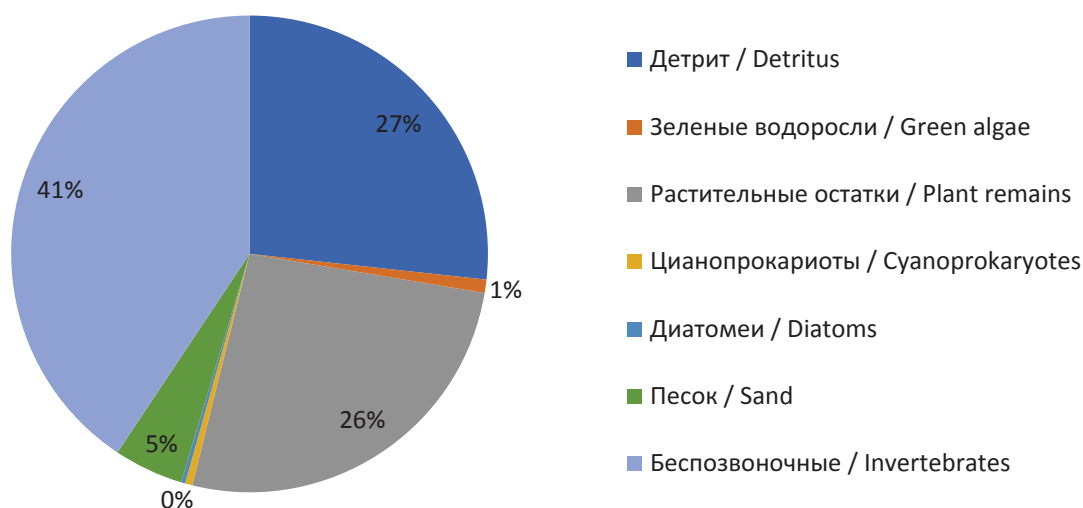


Рис. 3. Соотношение компонентов содержимого кишечника тиляпии мозамбикской в тепловодной зоне водоёма-охладителя Нововоронежской АЭС (сентябрь 2020 г.) (цвет online)
 Fig. 3. The ratio of the components of the contents of the intestines of Mozambique tilapia in the warm-water zone of the cooling pond of the Novovoronezh NPP (September 2020) (color online)

В среднем на долю детрита приходилось до 67,2%, на беспозвоночных – 19,2%, растительных остатков – 7,2%, микроводорослей – 1,7% от общей массы содержимого кишечного тракта исследованной группы рыб (см. рис. 3).

Среди микроводорослей в кишечнике тиляпии наибольшим разнообразием отличались представители зеленых водорослей из родов *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Ankistrodesmus*, а также многочисленны были диатомеи из родов *Navicula* и *Achnantes*.

Индексы накормленности молоди были невелики и колебались в пределах 7,7–16,1 ‰.

В 2021 г. при продолжении исследования питания тиляпии было выявлено, что все особи размером от 9,0 до 31,1 см питались микрообрастаниями (таблица). В пище доминировали представители зеленых водорослей рода *Scenedesmus*. Только у одного экземпляра содержимое кишечного тракта наполовину состояло из растительных остатков, а у двух особей были единично обнаружены олигохеты. У трех рыб



**Показатели питания тилапии в водоёме охладителе НВ АЭС в 2021 г.
Feeding indicators of tilapia in the cooling pond of NV NPP in 2021**

Размерная группа, см / Size group, cm	Наполнение кишечника, балл / Filling of intestines, score	Степени жирности, балл / Obesity, score	Состав пищевого комка / The composition of the food bolus
9,0–12,5	3–5	0–1	Микрообрастания. Статобласты / Microfouling. Statoblasts
15,5–18,0	4–5	1–2	Микрообрастания. Единичные олигохеты / Microfouling. Single oligochaetes
20,0–22,5	5	2–3	Микрообрастания. Растительные остатки Статобласты / Microfouling. Plant remains. Statoblasts
31,1	5	3	Микрообрастания / Microfouling

в кишечнике были статобласты мшанок, что подтверждает биомелиоративную роль тилапий, выедающих микрообрастания.

Высокую интенсивность питания тилапии микрообрастаниями отражают показатели наполнения кишечного тракта, которые у большинства рыб составляли 4–5 баллов (по 5-балльной шкале). Удовлетворительные условия откорма тилапии также показывают данные экспресс-метода определения степени жирности по пятибалльной шкале, которые у большинства рыб составляли 2–3 балла.

Таким образом, исследование питания тилапии выявило активное выедание данным видом микрообрастаний. Это подтвердило биомелиоративную функцию тилапии мозамбикской в водоёме-охладителе Новоронежской АЭС, учитывая возможность ее круглогодичного питания в условиях повышенной температуры воды, активизирующей жизненные процессы рыб.

На рис. 4 представлен камень, поднятый с глубины 0,5 м, на поверхности которого заметны борозды в бактериально-водорослевой пленке, выеденные тилапией.



Рис. 4. Каменистый обломок со следами объедания тилапией

Fig. 4. Stony fragment with traces of eating tilapia

Отмеченное в ходе изучения субстратов выедание перифитона тилапией снижает массу обрастаний более чем в полтора раза. После выедания за счет исчезновения нитчатых водорослей, формирующих жесткий каркас обрастания, уменьшается его зольность (количество органических веществ возрастает). Таким образом, тилапия не только снижает биомассу обрастаний, но и вызывает перестройку его структуры.

Заключение

Роль тилапии как вида-биомелиоратора, активно поедающего зелёные, синезелёные, а также харовые и нитчатые водоросли, хорошо известна [8, 20]. Это обуславливает её широкое использование для борьбы с развитием обрастаний в водоёмах-охладителях, которое определяется спецификой температурного (и отчасти гидрологического) режимов и создает помехи функционированию гидротехнического оборудования атомной станции. В водоём-охладитель Нововоронежской АЭС тилапия мозамбикская занесена непреднамеренно, но заняла свою пространственную и трофическую нишу за счет освоения тепловодного участка с высокими температурами, избегаемым другими видами рыб и недоиспользуемым кормовым ресурсом – бактериально-водорослевыми матами.

Успешная натурализация любого нового вида рыб в водной экосистеме определяется либо наличием недоиспользуемых ресурсов (корм и пространство) или за счет постепенного вытеснения менее конкурентоспособного местного вида. В этом отношении наблюдаемое заметное увеличение в водоёме-охладителе Нововоронежской АЭС численности вселенца-тилапии соответствует в настоящее время первому пути, поэтому не классифицируется как опасная биоинвазия. Проведенный анализ условий обитания, состояния кормовых ресурсов и состава ихтиофауны позволил рассматривать их как факторы, канализирующие данный процесс.



Наряду с важной биомелиоративной ролью в водоеме, тилапия сама становится ценным рыбным ресурсом, учитывая быстрый рост и вкусовые, в том числе диетические качества данного вида [7, 8, 17, 19]. Формирование самовоспроизводящейся популяции тилапии имеет и экономический эффект, так как создание аквакультуры пастбищного или садкового типа достаточно затратное рыбохозяйственное мероприятие.

Список литературы

- Mieszkin S., Martin-Tanchereau P., Callow M., Callow J. Effect of bacterial biofilms formed on fouling-release coatings from natural seawater and *Cobetia marina*, on the adhesion of two marine algae // *Biofouling*. 2012. Vol. 28, № 9. P. 953–968. <https://doi.org/10.1080/08927014.2012.723696>
- Rao D., Webb J. S., Kjelleberg S. Microbial colonization and competition on the marine alga *Ulva australis* // *Appl. Environ. Microbiol.* 2006 Aug. Vol. 72, № 8. P. 5547–5555. <https://doi.org/10.1128/AEM.00449-06>
- Методические рекомендации по сбору и обработке материала при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л. : ГосНИОРХ, 1983. 51 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Животова Е. Н. Зоопланктон водных экосистем в зоне влияния Нововоронежской АЭС. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2021. 166 с.
- Тетдоев В. В. Размножение и выращивание тилапии в естественных водоёмах и в условиях индустриальных рыбоводных хозяйств. М. : Изд-во РГАЗУ, 2009. 102 с.
- Привезенцев Ю. А. Тилапии (систематика, биология, хозяйственное использование). М. : ООО «Столичная типография». 2008. 80 с.
- Lim C., Webster C. D. *Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition* Routledge. USA : CRC Press, 2006. 746 p.
- De Silva S. S., Subasinghe R. P., Bartley D. M., Lowther A. Tilapias as alien aquatics in Asia and the Pacific: A review // *FAO Fisheries Technical Paper*. 2004. 74 p.
- Chervinski J. Environmental physiology of tilapias // *ICLARM Conf. Manila, Philippines*, 1982. P. 119–128.
- Webster C. D., Chhorn L. *Tilapia : Biology, Culture, and Nutrition*. USA : CRC Press, 2006. 704 p.
- Иванчев В. П., Сарычев В. С., Иванчева Е. Ю. Миноги и рыбы бассейна Верхнего Дона // *Труды Окского государственного природного биосферного заповедника*. Вып. 28. Рязань : НП «Голос губернии», 2013. 275 с.
- Старцев А. В., Корчунов А. А., Рабазанов Н. И. Экология и распространение амурского чебачка *Pseudoras boraparva* (Temminck et Schlegel, 1846) как объекта биологической инвазии в дельте и устьевом взморье Дона // *Юг России: экология, развитие*. 2019. Т. 14, № 3. С. 6–16.
- Боронцекая О. И. Использование тилапии (*Tilapia*) в мировой и отечественной аквакультуре // *Известия ТСХА*. 2012. Вып. 1. С. 164–173.
- Tilapia: production, marketing and technical development: Tilapia 2001: International technical and trade conference on tilapia: proceedings / eds. S. Subasinghe, T. Singhe. Kuala Lumpur, Malaysia: Infofish, 2001. 852 p.
- Shelton W. L. *Tilapia culture in the 21 st century*. Philippines : Philippines Fisheries Society, 2002. 365 p.
- Abdel-Fattah M. El-Sayed. *Tilapia culture*. Cambridge, USA : CAB International, 2006. 294 p.
- Озиранский Ю., Колесник Н. Л., Симон М. Ю., Щербак С. Д., Кононенко Р. В., Федоренко Н. А. Тилапия (*Tilapia*) как один из основных объектов современной аквакультуры. Опыт культивирования в Израиле (обзор) // *Рибогосподарська наука України*. 2018. № 3. С. 50–88.
- Подушка С. Б. Новая литература о тилапиях на русском языке (Библиографический указатель) // *Науч.-техн. бюл. лаб. ихтиологии ИНЭНКО*. 2013. Вып. 18. С. 24–34.

References

- Mieszkin S., Martin-Tanchereau P., Callow M., Callow J. Effect of bacterial biofilms formed on fouling-release coatings from natural seawater and *Cobetia marina*, on the adhesion of two marine algae. *Biofouling*, 2012, vol. 28, no. 9, pp. 953–968. <https://doi.org/10.1080/08927014.2012.723696>
- Rao D., Webb J. S., Kjelleberg S. Microbial colonization and competition on the marine alga *Ulva australis*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2006 Aug., vol. 72, no. 8, pp. 5547–5555. <https://doi.org/10.1128/AEM.00449-06>
- Methodicheskiye rekomendatsii po sboru i obrabotke materiala pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh. Zoobentos i ego produkciya* [Methodological recommendations for the collection and processing of material in hydrobiological surveys in freshwater reservoirs. Zoobenthos and its products]. Leningrad, GosNIORKh Publ., 1983. 51 p. (in Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. T. 1. Zooplankton. Pod red. V. R. Alekseyeva, S. Ya. Tsalolikhina* [V. R. Alekseev, Tsalolikhin S. Ya., eds. Identifier of zooplankton and zoobenthos of freshwaters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton]. Moscow, KMK Scientific Press, 2010. 495 p. (in Russian).
- Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guidelines for the study of fish. Publishing House "Food Industry"]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost Publ., 1966. 376 p. (in Russian).



6. Zhivotova E. N. *Zooplankton vodnykh ekosistem v zone vliyaniya Novovoronezhskoy AES* [Zooplankton of aquatic ecosystems in the impact zone of Novovoronezh NPP]. Voronezh, Tsifrovaya poligrafiya Publ., 2021. 166 p. (in Russian).
7. Tetdov V. V. *Razmnozheniye i vyrashchivaniye tilyapii v estestvennykh vodoyemakh i v usloviyakh industrial'nykh rybovodnykh khozyaystv* [Reproduction and rearing of tilapia in natural water bodies and in the conditions of industrial fish farms]. Moscow, Izd-vo RGZV, 2009. 102 p. (in Russian).
8. Privezentsev Yu. A. *Tilyapii (sistematika, biologiya, khozyaystvennoye ispol'zovaniye)* [Tilapia (systematics, biology, economic use)]. Moscow, OOO Stolichnaya tipografiya Publ., 2008. 80 p. (in Russian).
9. Lim C., Webster C. D. *Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition* Routledge. USA, CRC Press, 2006. 746 p.
10. De Silva S. S., Subasinghe R. P., Bartley D. M., Lowther A. Tilapias as alien aquatics in Asia and the Pacific: A Review. *FAO Fisheries Technical Paper*. 2004. 74 p.
11. Chervinski J. Environmental physiology of tilapias. In: *ICLARM Conf.* Manila, Philippines, 1982, pp. 119–128.
12. Webster C. D., Chhorn L. *Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition*. USA, CRC Press, 2006. 704 p.
13. Ivanchev V. P., Sarychev V. S., Ivancheva E. Yu. Lampreys and fishes of the Upper Don basin. *Trudy Okskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Vyp. 28* [Proceedings of Oka State Nature Biosphere Reserve, iss. 28]. Ryazan, NP Golos gubernii Publ., 2013. 275 p. (in Russian).
14. Startsev A. V., Korchunov A. A., Rabazanov N. I. Ecology and distribution of Amur chub *Pseudoras boraparva* (Temminck et Schlegel, 1846) as an object of biological invasion in the delta and estuary of the Don River. *South Russia: Ecology, Development*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 6–16 (in Russian).
15. Boronetskaya O. I. The use of tilapia (Tilapiinae) in world and domestic aquaculture. *Proceedings of the TSKHA*, 2012, iss. 1, pp. 164–173 (in Russian).
16. Subasinghe S., Singhe T., eds. *Tilapia: production, marketing and technical development: Tilapia 2001: International technical and trade conference on tilapia: Proceedings*. Kuala Lumpur, Malaysia, Infofish, 2001. 852 p.
17. Shelton W. L. *Tilapia culture in the 21st century*. Philippines, Philippines Fisheries Society, 2002. 365 p.
18. Abdel-Fattah M. El-Sayed. *Tilapia culture*. Cambridge, USA, CABI Publishing, 2006. 294 p.
19. Oziransky Y., Kolesnik N. L., Simon M. Y., Scherbak S. D., Kononenko R. V., Fedorenko N. A. Tilapia (Tilapini) as one of the basic objects of modern aquaculture. Cultivation experience in Israel (review). *Ribogospodarska nauka Ukrainy*, 2018, no. 3, pp. 50–88.
20. Pudushka S. B. New literature on tilapias in Russian (Bibliographical index). *Scientific and Technical Bulletin of Ichthyology Lab of INENKO*, 2013, vol. 18, pp. 24–34 (in Russian).

Поступила в редакцию 05.02.2022; одобрена после рецензирования 15.02.2022; принята к публикации 17.02.2022
The article was submitted 05.02.2022; approved after reviewing 15.02.2022; accepted for publication 17.02.2022