

## ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

### PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF HYDROCOLE

Научная статья

УДК 574.24

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-79-89>

EDN OJARPQ

### Гистопатологический анализ органов нильской тилапии, выращенной в условиях аквакультуры юга России

---

*Виктор Николаевич Крючков<sup>1</sup>, Вера Ивановна Егорова<sup>2</sup>,  
Ирина Владимировна Волкова<sup>3</sup>, Елизавета Александровна Степаненко<sup>4</sup>✉*

<sup>1-4</sup>Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [liza\\_10.03.97@mail.ru](mailto:liza_10.03.97@mail.ru)✉

<sup>3</sup>Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина –  
филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,  
Астрахань, Россия

---

**Аннотация.** На сегодняшний день аквакультура является одним из крупнейших и быстро развивающихся направлений в сельском хозяйстве. Разведение и выращивание гидробионтов сопровождается постоянным мониторингом морфофизиологических показателей их здоровья и кропотливым созданием благоприятных условий для повышения продуктивности и исключения патологических состояний объектов аквакультуры. Одним из часто применяемых инструментов для объективной оценки состояния культивируемых водных организмов являются морфогистологические методы. Представлены результаты гистопатологического анализа жабр, печени и селезенки нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*), выращенной в условиях прудового хозяйства, с последующим ранжированием гистопатологических изменений. В жабрах были обнаружены изменения разной степени (от незначительной до выраженной). Наиболее частыми нарушениями были изменения формы ламелл и гиперплазия межламеллярного эпителия филамента. Нарушения реологии крови проявлялись в виде расширения сосудов филамента, стаза, тромбоза. Также наблюдались мононуклеарные воспалительные инфильтраты, тромбоз капилляров в основаниях ламелл, эпителиальные кисты. Наиболее часто наблюдаемой реакцией печени было нарушение реологии крови, преимущественно капилляров. Были отмечены такие виды патологии, как липидная дистрофия, вакуольная дистрофия. Также наблюдались признаки некроза в виде кариопикноза, фокальные некрозы. Наряду с дистрофиями и некрозами в паренхиме таких органов выявлялись очаги меланомакрофагов, а также вакуольная дегенерация панкреатических ацинусов. Ткань селезенки характеризовалась незначительной степенью изменений, но при этом наблюдалось нарушение реологии крови в виде стаза в сосудах разных калибров и отмечалось отложение гемосидерина и наличие воспалительных эозинофильных гранулярных инфильтратов.

**Ключевые слова:** аквакультура, нильская тилапия, жабры, печень, селезенка, дистрофия, некроз

**Для цитирования:** Крючков В. Н., Егорова В. И., Волкова И. В., Степаненко Е. А. Гистопатологический анализ органов нильской тилапии, выращенной в условиях аквакультуры юга России // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2026. № 2. С. 78–89. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-79-89>. EDN OJARPQ.

Original article

## Histopathological analysis of Nile tilapia organs grown in aquaculture conditions in southern Russia

Viktor N. Kryuchkov<sup>1</sup>, Vera I. Egorova<sup>2</sup>, Irina V. Volkova<sup>3</sup>, Elizaveta A. Stepanenko<sup>4</sup>✉

<sup>1-4</sup>Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, liza\_10.03.97@mail.ru✉

<sup>3</sup>Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin,  
branch of the Volga State University of Water Transport,  
Astrakhan, Russia

**Abstract.** Today, aquaculture is one of the largest and fastest growing areas in agriculture. Breeding and rearing of aquatic organisms is accompanied by constant monitoring of morphophysiological indicators of their health and painstaking creation of favorable conditions for increasing productivity and eliminating pathological conditions of aquaculture facilities. Morphohistological methods are one of the frequently used tools for an objective assessment of the condition of cultivated aquatic organisms. The results of a histopathological analysis of the gills, liver, and throat of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in pond farming are presented, followed by a ranking of histopathological changes. The gills, liver, and spleen were examined. Changes of varying degrees (from minor to pronounced) were detected in the gills. The most common disorders were changes in the shape of lamellae and hyperplasia of the interlamellar epithelium of the filament. Disorders of blood rheology manifested themselves in the form of vasodilation of the filament, stasis, and thrombosis. Mononuclear inflammatory infiltrates, capillary thrombosis at the bases of lamellae, and epithelial cysts were also observed. The most frequently observed liver reaction was a violation of the rheology of blood, mainly capillaries. Such types of pathology as lipid dystrophy and vacuolar dystrophy were noted. There were also signs of necrosis in the form of karyopycnosis, focal necrosis. Along with dystrophies and necrosis, foci of melanomacrophages and vacuolar degeneration of pancreatic acinuses were detected in the parenchyma of such organs. The spleen tissue was characterized by a slight degree of changes, but there was a violation of blood rheology in the form of stasis in vessels of different calibers, and hemosiderin deposition and the presence of inflammatory eosinophilic granular infiltrates were noted.

**Keywords:** aquaculture, Nile tilapia, gills, liver, spleen, dystrophy, necrosis

**For citation:** Kryuchkov V. N., Egorova V. I., Volkova I. V., Stepanenko E. A. Histopathological analysis of Nile tilapia organs grown in aquaculture conditions in southern Russia. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2026;2:79-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-79-89>. EDN OJARPQ.

### Введение

Аквакультура продолжает оставаться быстро растущим сектором производства рыбы и нерыбных объектов, так, например, в 2022 г. на долю аквакультуры приходилась половина мировых поставок рыбы для потребления человеком [1].

Нильская тиляпия (*Oreochromis niloticus*) является вторым по распространенности видом рыб, выращиваемых в мировой аквакультуре. Растет интерес к культивированию тиляпии и в России. Кроме товарной ценности, тиляпия является прекрасным модельным объектом и широко используется в исследованиях по физиологии рыб, также она представляет большой интерес как объект экологического мониторинга [2].

Различные методы оценки состояния здоровья водных организмов находят применение при изучении природных популяций рыб, в экспериментальных исследованиях, а также в аквакультуре [3–6].

Морфогистологические методы – как самостоятельно, так и в комплексе с другими – могут выступать в качестве инструмента для анализа условий обитания рыб, поскольку они позволяют поставить подтверждающий диагноз [7].

Гистопатологические изменения органов и тканей животных являются результатом различных биохимических и физиологических реакций в организме, которые, в свою очередь, развиваются вследствие воздействия повреждающих факторов различной этиологии на функцию органов и здоровье рыб [8–10].

При этом нормальное функционирование организма, рост и выживание могут быть подвержены рискам. Таким образом, гистопатологическое исследование является важным инструментом оценки состояния здоровья рыбы, а значимость повреждения органов зависит от того, как оно влияет на функцию органов и способность рыбы выживать [11].

Это исследование с применением гистопатологических методов было проведено для оценки состояния здоровья нильской тиляпии, содержащейся в нормальных условиях культивирования.

### Материал и методы исследования

Рыбы содержались в садках, которые были установлены в прудах, предназначенных для товарного выращивания тропических ракообразных (прудовое хозяйство в Астраханской области). Морфологическое исследование проводилось на кафедре гидробиологии и общей экологии Астраханского государственного технического университета.

Объектом исследования послужила нильская тиляпия *Oreochromis niloticus* (возраст 0+, средняя масса 146,9 ± 21,2 г). Все рыбы были выращены в благоприятных условиях, при отборе проб клинические симптомы заболеваний отсутствовали.

В данном исследовании было использовано в общей сложности 24 особи тиляпии, отобранных методом простой случайной выборки из общего количества рыб, находящихся в садках.

### Гистопатологический анализ

После отлова рыб подвергали умерщвлению путем быстрого сотрясения головного мозга с последующим отбором органов для гистологического исследования (ГОСТ 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики» [12]). Сначала были удалены жаберная крышка и первая правая жаберная дуга, фиксировалась средняя часть второй жаберной дуги. После вскрытия брюшной полости были отобраны фрагменты печени и селезенки. Пробы фиксировались в растворе Буэна. Образцы были обезвожены в спиртах возрастающей концентрации, просветлены в ксилоле и залиты в парафин. Срезы изготавливались на санном микротоме МС-2, толщина срезов 5 мкм, окраска гематоксилином и эозином и кислым фуксином с докраской по Маллори [13].

### Ранжирование гистопатологических изменений

В дополнение к качественному описанию гистологические изменения в жабрах, печени и селезенке оценивались применением полуколичественного метода. За основу ранжирования поражений были взяты ранее предложенные методы балльной оценки [14–16]. Была применена следующая шкала тяжести поражений тканей: 0 – изменения отсутствуют; 1 – легкие изменения или очаговый процесс; 2 – умеренные изменения или мультифокальный процесс; 3 – тяжелые изменения или диффузный процесс. На основании этой шкалы для каждой рыбы было получено среднее зна-

чение степени гистологических изменений (СГИ), которое было классифицировано как легкое (0,1–1,0), умеренное (1,1–2,0) и интенсивное (2,1–3,0).

Для оценки жабр были рассмотрены следующие изменения тканей: гиперплазия эпителия филламента, гиперплазия респираторного эпителия ламелл, деформация и слияние ламелл, отслоение эпителия, отек эпителия ламелл, нарушения циркуляции крови.

Были рассмотрены следующие изменения в печени: застойные явления, мононуклеарный воспалительный инфильтрат, эозинофильный гранулярный воспалительный инфильтрат, очаги меланомакрофагов, вакуолярная дегенерация, некроз.

Рассматривались следующие поражения селезенки: гиперемия, мононуклеарный воспалительный инфильтрат, очаги меланомакрофагов, отложения пигментов.

### Этические аспекты

Исследование не требует этического разрешения, поскольку ни на одном из этапов работы не возникало вопросов, связанных с токсичным воздействием, генетическими манипуляциями или биобезопасностью.

### Результаты исследований

В жабрах были обнаружены изменения (рис. 1), которые варьировали от незначительной степени до выраженных.

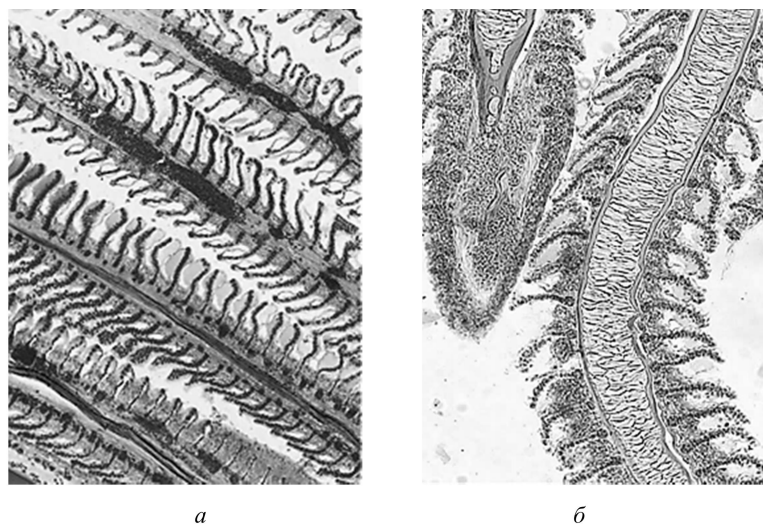


Рис. 1. Жабры тилапии (окраска гематоксилин-эозином): *a* – стаз в сосудах жаберных филламентов, искривление ламелл, эпителиальные кисты (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 10$ ); *б* – пролиферация ламеллярного эпителия, укороченные ламеллы, очаговое срастание ламелл, укороченные и искривленные ламеллы, колбообразные расширения конечных участков ламелл с включением слизистых клеток, пролиферация эпителия филламента (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 20$ )

Fig. 1. Tilapia gills (hematoxylin-eosin staining): *a* – stasis in the vessels of the gill filaments, curvature of lamellae, epithelial cysts (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 10$ ); *b* – proliferation of lamellar epithelium, shortened lamellae, focal fusion of lamellae, shortened and curved lamellae, cone-shaped extensions of the terminal sections of lamellae with inclusion mucosal cells, proliferation of the epithelium of the filament (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 20$ )

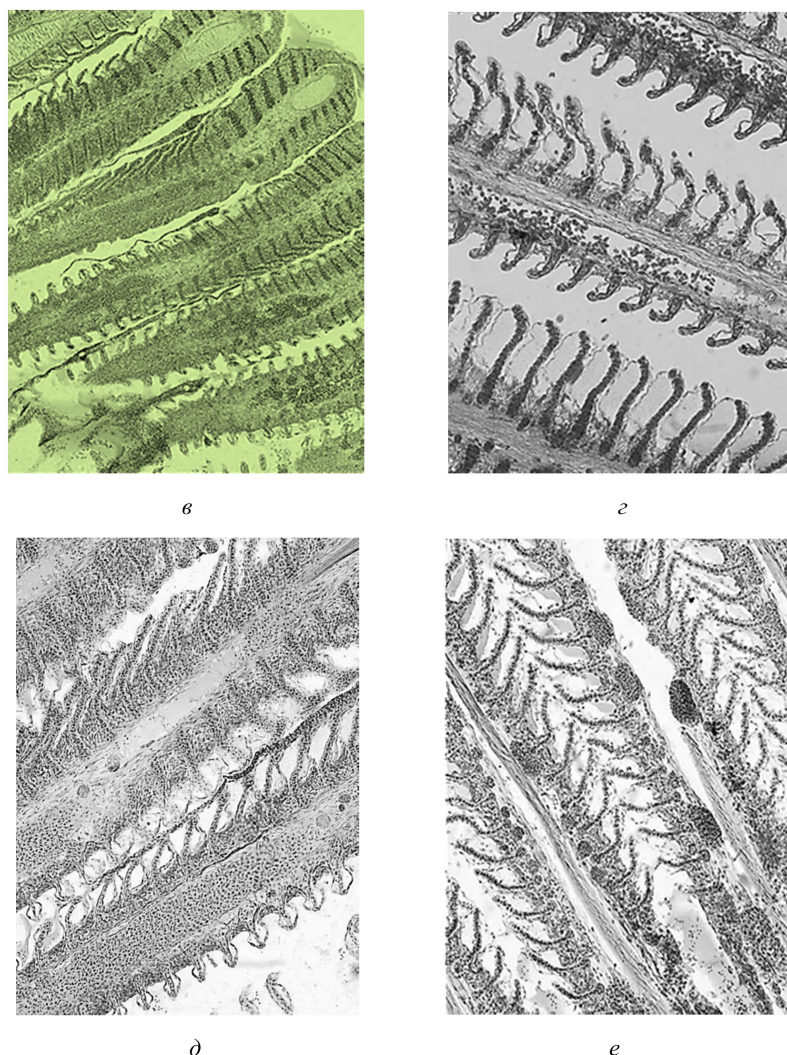


Рис. 1 (окончание). Жабры тилляпии (окраска гематоксилин-эозином): *a* – укороченные ламеллы, образование эпителиальных кист (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 10$ ); *b* – искривление ламелл, стаз в капиллярах ламелл, кисты (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 20$ ); *c* – стаз в центральном венозном синусе и в капиллярах ламелл (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 20$ ); *d* – тромбоз в основаниях ламелл, пролиферация эпителия филламента (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 20$ )

Fig. 1 (ending). Tilapia gills (hematoxylin-eosin staining): *a* – shortened lamellae, formation of epithelial cysts (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 10$ ); *b* – curvature of lamellae, stasis in the capillaries of lamellae, epithelial cysts (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 20$ ); *c* – stasis in the central venous sinus and in the capillaries of lamellae (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 20$ ); *d* – thrombosis in the bases of lamellae, proliferation of the epithelium of the filament (eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 20$ )

Наиболее частыми нарушениями были изменения формы ламелл и гиперплазия межламеллярного эпителия филламента, наблюдавшаяся у всех исследованных рыб. Что касается вовлеченности в процесс объема жабр, то более чем в 88 % случаев указанные изменения были в диффузной форме (степень 3), а в остальных случаях – мультифокальные изменения (степень 2), что приводило к среднему значению индекса гистологических изменений (СГИ)  $2,64 \pm 0,2$ .

Обширная пролиферация приводила к срастанию

ламелл, вплоть до полного исчезновения пространства между ними, уменьшая, таким образом, площадь респираторной поверхности.

Другими распространенными изменениями жабр тилляпий был отек эпителия на верхушках ламелл (рис. 2, *b*), также отек ламелл распространялся на все морфологическое образование.

Нарушения циркуляции крови проявлялись в виде расширения сосудов филламента, стаза (от незначительного до ярко выраженного), тромбоза.

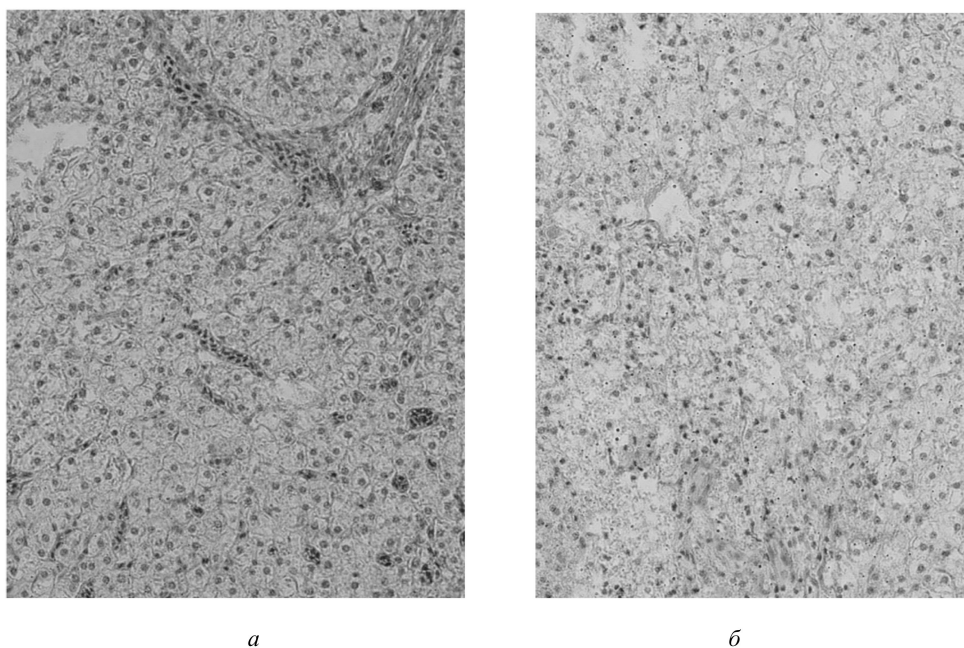


Рис. 2. Печень тилапии (окраска гематоксилин-эозином; окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 40$ ):  
 а – стаз в сосудах (капиллярах), точечные геморрагии; б – кариопикноз, баллонная дистрофия, фокальный некроз

Fig. 2. Tilapia liver (hematoxylin-eosin staining; eyepiece  $\times 10$ , lens  $\times 40$ ):  
 а – stasis in capillary vessels, pinpoint hemorrhages; б – karyopycnosis, balloon dystrophy, focal necrosis

Распространенность основных изменений в жабрах показана в табл. 1.

Таблица 1  
 Table 1

**Распространенность и средние значения степени гистологических изменений в жабрах тилапии**  
**Prevalence and average values of the degree of histological changes in tilapia gills**

Изменения	Встречаемость, %	Индекс поражения
Искривление ламелл	100	2,5 $\pm$ 0,3
Межламеллярная гиперплазия эпителия	100	2,5 $\pm$ 0,2
Гиперплазия эпителия ламелл	69,0	1,3 $\pm$ 0,6
Сращение ламелл	61,9	1,1 $\pm$ 0,5
Стаз в сосудах филламентов	33,03	0,8 $\pm$ 0,2
Расширение венозного синуса	14,3	0,5 $\pm$ 0,2
Стаз в центральном венозном синусе	38,1	1,2 $\pm$ 0,6

Кроме показанных в табл. 1, следует упомянуть мононуклеарные воспалительные инфильтраты, тромбоз капилляров в основаниях ламелл, эпителиальные кисты.

В печени изменения варьировали от легкой до умеренной степени, и наиболее часто наблюдаемой реакцией печени были застойные явления в сосудах, преимущественно в капиллярах, которые наблюдалась у 80,0 % проанализированных рыб, в основном частично поражающие орган, с СГИ = 1,3  $\pm$  0,4 (см. рис. 2, а).

Состояние гепатоцитов у половины исследованных рыб было преимущественно в норме. Были отмечены такие виды патологии, как липидная дистрофия, вакуолярная дистрофия. Были отмечены признаки некроза в виде кариопикноза, фокальные некрозы (см. рис. 2, б). Как правило, наряду с дистрофиями и некрозами в паренхиме таких органов выявлялись очаги меланомакрофагов, а также вакуолярная дегенерация панкреатических ацинусов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Распространенность и средние значения степени гистологических изменений в печени тилляпии

Prevalence and average values of the degree of histological changes in tilapia liver

Изменения	Встречаемость, %	Индекс поражения
Нарушения микроциркуляции	80,0	1,3 ± 0,4
Геморрагии, плазморрагии	52,6	1,5 ± 0,4
Дистрофии	80,0	2,0 ± 0,8
Некротические изменения	10,0	2,5 ± 1,1
Изменения ядер гепатоцитов	15,0	2,0 ± 0,6

Степень изменений ткани селезенки была незначительной (рис. 3), при этом меланомакрофагальные очаги в селезенке наблюдались у трети

исследованных рыб, что соответствует 32 % распространенности и самому высокому СГИ в этом органе (1,3 ± 0,4).

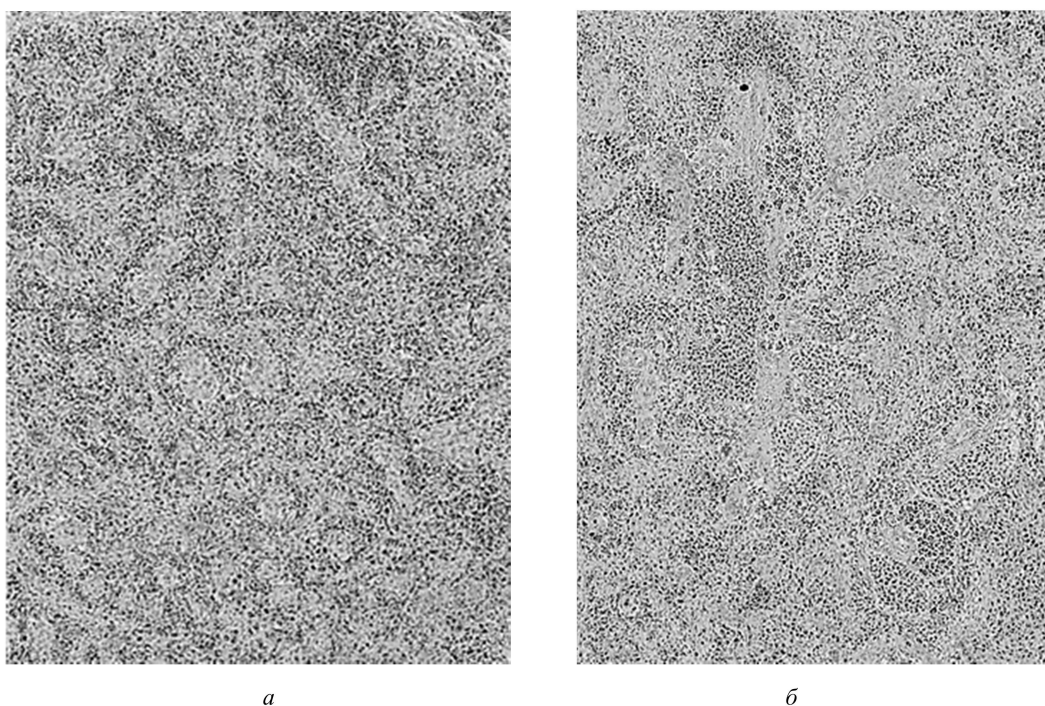


Рис. 3. Селезенка тилляпии (окраска гематоксилин-эозином; окуляр × 10, объектив × 40):  
 а – селезенка в норме; б – селезенка с отложением гемосидерина, застойные явления

Fig. 3. Tilapia spleen (hematoxylin-eosin staining; eyepiece × 10, lens × 40):  
 a – spleen is normal; б – spleen with hemosiderin deposition, stagnant phenomena

Нарушение циркуляции крови в виде стаза в сосудах разных калибров также было характерным в селезенке, кроме того, следует отметить отложение гемосидерина и наличие воспалительных эозинофильных гранулярных инфильтратов.

**Обсуждение результатов**

Повреждение клеток происходит, когда клетка не может поддерживать гомеостаз после различных раздражителей и/или воздействия повреждающих агентов. В целом изменения качества воды, высокая плотность содержания рыб в садке и раз-

личные рыбоводные манипуляции являются факторами, способными вызывать стресс у рыб, predisposing them to diseases of various etiologies, in that number making them less resistant to invasions and infections [3].

Воспаление является защитной реакцией животных и возникает, когда физические, химические и инфекционные раздражители воздействуют системно или изолированно, при этом интенсивность воздействия превышает пороговый уровень. Воспалительная реакция тканей сопровождается нарушением кровообращения, кровеносные капилляры

становятся гиперпластичными, высвобождая жидкость и форменные элементы крови, которые мигрируют к месту воспаления.

Заболевания жабр представляют собой серьезную проблему в аквакультуре и могут быть связаны с инфекционными или неинфекционными агентами [17–19].

Жабры уязвимы для различных повреждающих воздействий, поскольку находятся в непосредственном контакте с внешней средой. Жабры также считаются основным органом, подвергающимся воздействию загрязняющих веществ сначала вследствие контакта с водой, а затем и в процессе циркуляции токсиантов в крови после их резорбции. Изменения в жабрах рыб являются наиболее распространенной реакцией на воздействие загрязняющих веществ в окружающей среде [20].

Респираторный дистресс, вызванный изменениями в водной среде или ее загрязнением, может привести к расширению сосудов, появлению отека, а также к реакциям со стороны эпителия филламентов и ламелл. Эпителиальная гиперплазия – это неспецифическая реакция, вызываемая многими раздражителями жабр у рыб, подвергшихся загрязнению, том числе аммиаком и тяжелыми металлами [21, 22].

Существует точка зрения, что такие изменения в жабрах, как срастание ламелл и воспалительный инфильтрат, являются адаптивной реакцией рыб. Такие морфологические изменения жабр могут происходить вследствие изменений окружающей среды для сохранения физиологических функций жабр. Однако даже если это и защитная реакция, любое увеличение толщины дыхательной поверхности из-за гиперплазии эпителия приводит к увеличению расстояния для обмена газами и метаболитами с водой. Таким образом, возможны нарушения дыхания, осморегуляции и выделения, особенно если реакция носит диффузный характер и затрагивает значительную часть жабр, как это наблюдалось у рыб в настоящем исследовании, когда степень изменения этого органа была высокой. Этот факт представляет значительный практический интерес, поскольку любое воздействие на здоровье рыб, выращиваемых на предприятиях аквакультуры, может иметь экономические последствия, т. к. гидробионты могут использовать энергию, получаемую с кормом, на поддержание гомеостаза в ущерб росту и прибавке в массе.

В целом гистологические изменения жабр являются неспецифическим биомаркером, т. е. изменения в тканях могут быть вызваны множеством различных органических и неорганических загрязняющих веществ или патогенов. Однако они считаются достоверным и быстрым методом определения ущерба, нанесенного здоровью рыб, и являются одним из первых основных органов-мишеней для загрязняющих веществ [23].

Гепатоциты являются основным клеточным компонентом печени и считаются первой мишенью для токсического воздействия вещества, что характеризует их как биомаркер загрязнения окружающей среды [24]. Ряд исследователей сообщают о гипертрофии, вакуольной дегенерации и увеличении количества липидных капель в гепатоцитах рыб, подвергшихся воздействию загрязняющих веществ. Известно, что при выращивании рыбы коммерческие корма вызывают накопление жира, дегенерацию клеточной мембраны печени и вакуолизацию гепатоцитов, что может привести к нарушению кровообращения [25, 26]. Присутствие загрязняющих веществ в воде также вызывает жировую дегенерацию и вакуолизацию гепатоцитов.

Поражения печени, особенно вакуольная дегенерация, наблюдаемые у рыб, участвовавших в настоящем исследовании, могут быть вызваны многочисленными факторами, и вычлнить влияние отдельных факторов не представляется возможным. Так, накопление гемосидерина в клетках печени может быть связано с одновременным или перманентным разрушением эритроцитов [27]. Пикноз/ядерные изменения считаются ранним признаком некроза, вызванного воздействием токсичных веществ из окружающей среды, таких как пестициды. Некроз тканей печени, вероятно, может быть вызван чрезмерной нагрузкой, которую испытывает рыба, пытаясь вывести из организма водорастворимую фракцию в процессе детоксикации [28].

Интерес к изучению селезенки, в том числе и у рыб, связан с ее ролью в процессах, связанных с иммунитетом [29]. Недавние исследования показывают, что гистологические изменения в органах селезенки являются биомаркерами, позволяющими определить наличие стресса у рыб, вызванного плохим качеством воды.

В ходе исследования были выявлены различные гистологические изменения в селезенке, такие как отложение пигмента (гемосидерина), инфильтрация мононуклеарными иммунными клетками и/или инфильтрация меланомакрофагами, застойные явления, кровоизлияния. Увеличение размера селезенки, некроз, аномалии макрофагов, вакуолизация и гемосидероз часто связаны с загрязнением окружающей среды [30]. В ходе исследования было установлено, что отложение гемосидерина и инфильтрация макрофагами были наиболее выраженными изменениями в селезенке тилапий, что согласуется с другими исследованиями [31].

Меланомакрофагальные центры состоят из агрегатов макрофагов, содержащих различные пигменты, такие как гемосидерин, липофусцин и меланин [32]. Эти центры могут развиваться при хронических воспалительных поражениях, а также могут быть связаны с развитием иммунного ответа на бактериальные антигены. В целом образование этих центров может

свидетельствовать о реакции водных организмов на стрессовые факторы, такие как патогены, токсичные вещества, колебания температуры воды или как биоиндикаторы загрязнения [33].

Исходя из факта обнаружения меланомакрофагальных центров и принимая во внимание многочисленные возможные причины формирования такой реакции, полагаем, что центры меланомакрофагов, наблюдаемые в печени и селезенке исследованных рыб, обусловлены хроническим стрессом, которому рыба подвергается в среде культивирования.

Несмотря на выявленные изменения исследованных органов, каких-либо клинических признаков заболеваний у проанализированных рыб не наблюдалось. Принимая во внимание этот факт, определение того, что считается нормальным, а что патологическим в тканях культивируемых рыб, должно быть тщательным, поскольку сравнение их с образцами органов и тканей, представленными от рыб в экспериментально контролируемой среде, может привести к неправильной интерпретации. При этом следует иметь в виду, что здоровая рыба не характеризуется полным отсутствием гистологических изменений и обычно может демонстрировать умеренные структурные нарушения или легкие воспалительные реакции [16, 34, 35].

#### Список источников

1. Устойчивое будущее на крючке: ФАО раскрывает потенциал мирового рыболовства и аквакультуры // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). URL: <https://www.fao.org/russian-federation/news/news-detail/reeling-in-sustainable-future--fao-unlocks-the-potential-of-world-fisheries-and-aquaculture--ru> (дата обращения: 01.03.2026).
2. Привезенцев Ю. А. Тиляпии (систематика, биология, хозяйственное использование): моногр. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. 121 с.
3. Вихман А. А. Системный анализ иммунофизиологической реактивности рыб в условиях. М.: Экспедитор, 1996. 176 с.
4. Coz-Rakovac R., Strunjak-Perovic I., Hacmanjek M., Popovic N. T., Lijep Z., Sostaric B. Blood chemistry and histological properties of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in the North Adriatic Sea // Veterinary research communications. 2005. V. 29. N. 8. P. 677–687.
5. Rašković B., Jaric I., Koko V., Spasic M., Dulic Z., Markovic Z., Poleksic V. Histopathological indicators: a useful fish health monitoring tool in common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) culture // Central European Journal of Biology. 2013. V. 8. N. 10. P. 975–985.
6. Alim D., Matter H. Histopathological Alteration induced in gills of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* upon exposure to two bio-pesticides // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2015. V. 2. P. 80–83.
7. Santos M. A., Jerônimo G. T., Cardoso L., Tancredo K. R., Medeiros P. B., Ferrarrez J. V., Gonçalves E. L. T., Assis G. C., Martins M. L. Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil // Aquaculture. 2017. V. 470. P. 103–109.
8. Федорова Н. Н., Грушко М. П., Каниева Н. А. Патоморфологические изменения жизненно важных органов волжских рыб // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 104–109.
9. Zimmerli S., Bernet D., Burkhardt-Holm P., Schmidt-Posthaus H., Vonlanthen P., Wahli T., Segner H. Assessment of fish health status in four Swiss rivers showing a decline of brown trout catches // Aquatic Sciences. 2007. V. 69. N. 1. P. 11–25.
10. Van Dyk J. C., Marchand M. J., Smit N. J., Pieterse G. M. A histology-based fish health assessment of four commercially and ecologically important species from the Okavango Delta panhandle, Botswana // Afr. J. Aquat. Sci. 2009. V. 34 (3). P. 273–282.
11. Bernet D., Schimidt H., Meier W., Burkhardt-Holm P., Wahli T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution // J. Fish Dis. 1999. V. 22. P. 25–34.
12. ГОСТ 33044-2014. Принципы надлежащей лабораторной практики // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115791> (дата обращения: 19.04.2026).
13. Ромейс Б. Микроскопическая техника / пер. с нем. В. Я. Александрова и З. И. Кроликовой; под ред. и с предис. И. И. Канаева. М.: Иностр. лит., 1953. 718 с.
14. Лесников М. А., Чинарева Л. Д. Патолого-гистологический анализ состояния рыб при полевых и экспериментальных гистологических исследования // Методы ихтиотоксикологических исследований. Л., 1987. С. 80–81.
15. Schwaiger J., Adam S., Pawert M., Honnen W., Triebkorn R. The use of histopathological indicators to evaluate contaminant-related stress in fish // Journal of Aquatic

Ecosystem Stress and Recovery. 1997. V. 6. N. 1. P. 75–86.

16. Bernet D., Schmidt-Posthaus H., Wahli T., Burkhardt-Holm P. Evaluation of two monitoring approaches to assess effects of waste water disposal on histological alterations in fish // *Hydrobiologia*. 2004. V. 524. N. 1. P. 53–66.

17. Третьяк Л. П. Патоморфологическое исследование состояния жабрного аппарата *Salmo trutta labrax* Pallas под влиянием хронической интоксикации // Современные аспекты экологии и экологического образования: материалы конф. Назрань, 2007. С. 136–139.

18. Kim W. S., Kong K. H., Kim J. O., Oh M. J. Amoebic gill infection in coho salmon *Oncorhynchus kisutch* farmed in Korea // *Dis. Aquat. Organ*. 2016. V. 121. P. 75–78.

19. Bloecher N., Powell M., Hytterod S., Gjessing M., Wiik-Nielsen J., Mohammad S. N. Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease // *PLoS one*. 2018. V. 13. N. 7. P. e0199842.

20. Shahid S., Sultana T., Sultana S., Hussain B., Al-Ghanim K. A., Al-Bashir F., Riaz M. N., Mahboob S. Detecting aquatic pollution using histological investigations of the gills, liver, kidney, and muscles of *Oreochromis niloticus* // *Toxics*. 2022. V. 10. N. 10. P. 564.

21. Матей В. Е., Чуйко Г. М., Павлов Д. Ф. Сравнительный анализ изменений структуры жабр тилапии *Oreochromis mossambicus* при хроническом действии нафталина и дихлофоса // *Цитология*. 1994. Т. 36. № 9-10. С. 938–945.

22. Abalaka S. E. Histopathological evaluation of *Oreochromis mossambicus* gills and liver as biomarkers of earthen pond water pollution // *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*. 2017. V. 15. N. 1. P. 57.

23. Aditi J., Hundal S. S. Histological changes in gills and liver of fishes in river Sutlej as an effect of Buddha Nallah pollution at Ludhian // *Int. J. Life Sci*. 2017. V. 5 (1). P. 87–92.

24. Бурлаков И. А., Волкова И. В., Крючков В. Н., Егорова В. И., Сейдалиева Л. К. Изменения печени мустеры *Blicca bjoerkna* (L., 1758) дельты Волги как морфофизиологический индикатор изменения условий обитания // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 150-летию Севастоп. биол. ст. – Ин-та биол. юж. морей им. А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (Севастополь, 13–18 сентября 2021 г.). Севастополь: ФИЦ ИнБИОМ, 2021. С. 359–360.

25. Алымов Ю. В., Козкоз А. А., Загребина О. Н., Блинков Б. В. Влияние различных комбикормов на морфофизиологические показатели молоди русского осетра, выращенной садковым методом // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 4. С. 167–171.

26. Bilen A. M., Bilen E. Effects of diet on the fatty acids composition of cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) liver tissues and histology compared with wild sea bass caught in Aegean Sea // *Mar. Sci. Technol. Bull*. 2013. V. 2. P. 13–19.

27. Миллер И. С., Коновалова Т. В., Короткевич О. С., Петехов В. Л., Себежко О. И., Петехов В. Л. Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в печени судака Новосибирского водохранилища // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. URL: <https://science.education.ru/article/view?id=22565> (дата обращения: 01.03.2026).

28. Ghamdi F., El-Kasheif M., Gaber H., Ibrahim S. Structural alterations in gills, liver and ovaries of Tilapia fish (*Saratherodon galilaeus*) as a biomarker for environmental pollution in Ismailia Canal // *Catrina*. 2014. V. 9 (1). P. 7–14.

29. Тыхеев А. А., Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н., Кутырев И. А., Томитова Е. А., Петерфельд В. А., Путункеева Ю. С., Игнатъева М. В. Морфологические изменения структуры селезенки нерестового омуля, зараженного *D. dendriticum* // *Вестн. КрасГАУ*. 2020. № 6. С. 116–125.

30. Paraso M. G. V., Lola S. Biomarker evaluation in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to assess the health status of aquaculture areas in the seven lakes of San Pablo // *Philipp. J. Sci*. 2021. V. 149. P. 833–840.

31. Steckert L. D., Cardoso L., Jerônimo G. T., de Pádua S. B., Martins M. L. Investigation of farmed Nile tilapia health through histopathology // *Aquaculture*. 2018. V. 486. P. 161–169.

32. Balamurugan S., Deivasigamani B., Kumaran S., Sakthivel M., Rajsekar T., Priyadharsini P. Melanomacrophage centers aggregation in *P. lineatus* spleen as bioindicator of environmental change // *Asian Pac. J. Trop. Dis*. 2012. V. 2. P. S635–S638.

33. Authman M. M. N., Abbas W. T. A., Gaarfar A. Y. Metals concentrations in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) from illegal fish farm in Al-Minufiya Province, Egypt, and their effects on some tissues structures // *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 2012. V. 84. P. 163–172.

34. Santos M. A., Jerônimo G. T., Cardoso L., Tancredo K. R., Medeiros P. B., Ferrarrez J. V., Gonçalves E. L. T., Assis G. C., Martins M. L. Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil // *Aquaculture*. 2017. V. 470. P. 103–109.

35. Shahid S., Sultana T., Sultana S., Hussain B., Al-Ghanim K. A., Al-Bashir F., Riaz M. N., Mahboob S. Detecting aquatic pollution using histological investigations of the gills, liver, kidney, and muscles of *Oreochromis niloticus* // *Toxics*. 2022. V. 10 (10). P. 564.

## References

1. Ustojchivoe budushchee na kryuchke: FAO raskryvaet potencial mirovogo rybolovstva i akvakul'tury [A sustainable future is on the hook: FAO is unlocking the potential of global fisheries and aquaculture]. *Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya Ob'edinennyh Nacij (FAO)*. Available at: <https://www.fao.org/russian-federation/news/news-detail/reeling-in-sustainable-future--fao-unlocks-the-potential-of-world-fisheries-and-aquaculture/ru> (accessed: 01.03.2026).

2. Privezencev Yu. A. *Tilyapii (sistematika, biologiya, hozyajstvennoe ispol'zovanie): monografiya* [Tilapia (taxonomy, biology, economic use): the monograph]. Moscow, Izd-vo RGAU-MSKHA im. K. A. Timiryazeva, 2011. 121 p.

3. Vihman A. A. *Sistemnyj analiz immunofiziologicheskoy reaktivnosti ryb v usloviyah* [Systemic analysis of the immunophysiological reactivity of fish in conditions of]. Moscow, Ekspeditor Publ., 1996. 176 p.

4. Coz-Rakovac R., Strunjak-Perovic I., Hacmanjek M., Popovic N. T., Lijep Z., Sostaric B. Blood chemistry and histological properties of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in the North Adriatic Sea. *Veterinary research communications*, 2005, vol. 29, no. 8, pp. 677–687.

5. Rašković B., Jaric I., Koko V., Spasic M., Dulic Z., Markovic Z., Poleksic V. Histopathological indicators: a useful fish health monitoring tool in common carp (*Cyprinus*

*mus carpio*, Linnaeus, 1758) culture. *Central European Journal of Biology*, 2013, vol. 8, no. 10, pp. 975-985.

6. Alim D., Matter H. Histopathological Alteration induced in gills of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* upon exposure to two bio-pesticides. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2015, vol. 2, pp. 80-83.

7. Santos M. A., Jerônimo G. T., Cardoso L., Tancredo K. R., Medeiros P. B., Ferrarrezzi J. V., Gonçalves E. L. T., Assis G. C., Martins M. L. Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil. *Aquaculture*, 2017, vol. 470, pp. 103-109.

8. Fedorova N. N., Grushko M. P., Kanieva N. A. Patomorfologicheskie izmeneniya zhiznennogo vazhnykh organov volzhskikh ryb [Pathomorphological changes in vital organs of Volga fish]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*, 2019, no. 4, pp. 104-109.

9. Zimmerli S., Bernet D., Burkhardt-Holm P., Schmidt-Posthaus H., Vonlanthen P., Wahli T., Segner H. Assessment of fish health status in four Swiss rivers showing a decline of brown trout catches. *Aquatic Sciences*, 2007, vol. 69, no. 1, pp. 11-25.

10. Van Dyk J. C., Marchand M. J., Smit N. J., Pieterse G. M. A histology-based fish health assessment of four commercially and ecologically important species from the Okavango Delta panhandle, Botswana. *Afr. J. Aquat. Sci.*, 2009, vol. 34 (3), pp. 273-282.

11. Bernet D., Schmidt H., Meier W., Burkhardt-Holm P., Wahli T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *J. Fish Dis.*, 1999, vol. 22, pp. 25-34.

12. GOST 33044-2014. Principy nadležashchej laboratornoj praktiki [ISS 33044-2014. Principles of good laboratory practice]. *Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200115791> (accessed: 19.04.2026).

13. Romejs B. *Mikroskopicheskaya tekhnika* [Microscopic technique]. Moscow, Inostrannaya literatura Publ., 1953. 718 p.

14. Lesnikov M. A., Chinareva L. D. Patologo-gistologicheskij analiz sostoyaniya ryb pri polevyh i eksperimental'nyh gistologicheskikh issledovaniya [Pathological and histological analysis of fish condition during field and experimental histological studies]. *Metody ihtiotoksikologicheskikh issledovaniy*. Leningrad, 1987. Pp. 80-81.

15. Schwaiger J., Adam S., Pawert M., Honnen W., Trieborsk R. The use of histopathological indicators to evaluate contaminant-related stress in fish. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 1997, vol. 6, no. 1, pp. 75-86.

16. Bernet D., Schmidt-Posthaus H., Wahli T., Burkhardt-Holm P. Evaluation of two monitoring approaches to assess effects of waste water disposal on histological alterations in fish. *Hydrobiologia*, 2004, vol. 524, no. 1, pp. 53-66.

17. Tret'yak L. P. Patomorfologicheskoe issledovanie sostoyaniya zhabernogo apparata *Salmo trutta labrax* Pallas pod vliyaniem hronicheskoy intoksikacii [Pathomorphological study of the condition of the gill apparatus of *Salmo trutta labrax* Pallas under the influence of chronic intoxication]. *Sovremennye aspekty ekologii i ekologicheskogo obrazovaniya: materialy konferencii*. Nazran', 2007. Pp. 136-139.

18. Kim W. S., Kong K. H., Kim J. O., Oh M. J. Amoebic gill infection in coho salmon *Oncorhynchus kisutch* farmed in Korea. *Dis. Aquat. Organ.*, 2016, vol. 121, pp. 75-78.

19. Bloecher N., Powell M., Hytterod S., Gjessing M., Wiik-Nielsen J., Mohammad S. N. Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease. *PLoS one*, 2018, vol. 13, no. 7, p. e0199842.

20. Shahid S., Sultana T., Sultana S., Hussain B., Al-Ghanim K. A., Al-Bashir F., Riaz M. N., Mahboob S. Detecting aquatic pollution using histological investigations of the gills, liver, kidney, and muscles of *Oreochromis niloticus*. *Toxics*, 2022, vol. 10, no. 10, p. 564.

21. Matej V. E., Chujko G. M., Pavlov D. F. Sravnitel'nyj analiz izmenenij struktury zhabr tilyapii *Oreochromis mossambicus* pri hronicheskom dejstvii naftalina i dihlifosa [Comparative analysis of changes in the structure of the gills of the tilapia *Oreochromis mossambicus* under the chronic action of naphthalene and dichlorvos]. *Citologiya*, 1994, vol. 36, no. 9-10, pp. 938-945.

22. Abalaka S. E. Histopathological evaluation of *Oreochromis mossambicus* gills and liver as biomarkers of earthen pond water pollution. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 2017, vol. 15, no. 1, p. 57.

23. Aditi J., Hundal S. S. Histological changes in gills and liver of fishes in river Sutlej as an effect of Buddha Nallah pollution at Ludhian. *Int. J. Life Sci.*, 2017, vol. 5 (1), pp. 87-92.

24. Burlakov I. A., Volkova I. V., Kryuchkov V. N., Egorova V. I., Sejdaliev L. K. Izmeneniya pecheni gustery *Blicca bjoerkna* (L., 1758) del'ty Volgi kak morfofiziologicheskij indikator izmeneniya uslovij obitaniya [Liver changes in Guster *Blicca bjoerkna* (L., 1758) of the Volga Delta as a morphophysiological indicator of changes in habitat conditions]. *Izuchenie vodnyh i nazemnyh ekosistem: istoriya i sovremennost': tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 150-letiyu Sevastopol'skoj biologicheskoy stancii – Instituta biologii yuzhnyh morej imeni A. O. Kovalevskogo i 45-letiyu NIS «Professor Vodyanickij» (Sevastopol', 13–18 sentyabrya 2021 g.)*. Sevastopol', FIC InBYUM, 2021. Pp. 359-360.

25. Alymov Yu. V., Kokoza A. A., Zagrebina O. N., Blinkov B. V. Vliyaniye razlichnykh kombikormov na morfofiziologicheskie pokazately molodi russkogo osetra, vyrashchennoj sadkovym metodom [The effect of various compound feeds on the morphophysiological parameters of juvenile Russian sturgeon raised by the garden method]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 4, pp. 167-171.

26. Bilen A. M., Bilen E. Effects of diet on the fatty acids composition of cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) liver tissues and histology compared with wild sea bass caught in Aegean Sea. *Mar. Sci. Technol. Bull.*, 2013, vol. 2, pp. 13-19.

27. Miller I. S., Konovalova T. V., Korotkevich O. S., Petekhov V. L., Sebezko O. I. Osobennosti nakopleniya i korrelyacii tyazhelykh metallov v pecheni sudaka Novosibirskogo vodohranilishcha [Features of accumulation and correlation of heavy metals in the liver of walleye of the Novosibirsk reservoir]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 5. Available at: <https://science.education.ru/article/view?id=22565> (accessed: 01.03.2026).

28. Ghamdi F., El-Kasheif M., Gaber H., Ibrahim S. Structural alterations in gills, liver and ovaries of Tilapia fish (*Saratherodon galilaeus*) as a biomarker for environmental pollution in Ismailia Canal. *Catrina*, 2014, vol. 9 (1), pp. 7-14.

29. Tyheev A. A., Zhamsaranova S. D., Lebedeva S. N., Kutuyev I. A., Tomitova E. A., Peterfel'd V. A., Putunkeeva Yu. S., Ignat'eva M. V. Morfofiziologicheskie izmeneniya struktury selezenki nerestovogo omulya, zarazhennogo *D. dendriticum* [Morphological changes in the structure of the spleen of a spawning omul infected with *D. dendriticum*]. *Vestnik KrasGAU*, 2020, no. 6, pp. 116-125.

30. Paraso M. G. V., Lola S. Biomarker evaluation in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to assess the health

status of aquaculture areas in the seven lakes of San Pablo. *Philipp. J. Sci.*, 2021, vol. 149, pp. 833-840.

31. Steckert L. D., Cardoso L., Jerônimo G. T., de Pádua S. B., Martins M. L. Investigation of farmed Nile tilapia health through histopathology. *Aquaculture*, 2018, vol. 486, pp. 161-169.

32. Balamurugan S., Deivasigamani B., Kumaran S., Sakthivel M., Rajsekar T., Priyadharsini P. Melanomacrophage centers aggregation in *P. lineatus* spleen as bioindicator of environmental change. *Asian Pac. J. Trop. Dis.*, 2012, vol. 2, pp. S635-S638.

33. Authman M. M. N., Abbas W. T. A., Gaarfar A. Y. Metals concentrations in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*

(Linnaeus, 1758) from illegal fish farm in Al-Minufiya Province, Egypt, and their effects on some tissues structures. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2012, vol. 84, pp. 163-172.

34. Santos M. A., Jerônimo G. T., Cardoso L., Tancredo K. R., Medeiros P. B., Ferrarrezzi J. V., Gonçalves E. L. T., Assis G. C., Martins M. L. Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil. *Aquaculture*, 2017, vol. 470, pp. 103-109.

35. Shahid S., Sultana T., Sultana S., Hussain B., Al-Ghanim K. A., Al-Bashir F., Riaz M. N., Mahboob S. Detecting aquatic pollution using histological investigations of the gills, liver, kidney, and muscles of *Oreochromis niloticus*. *Toxics*, 2022, vol. 10 (10), p. 564.

Статья поступила в редакцию 20.04.2026; одобрена после рецензирования 08.05.2026; принята к публикации 02.06.2026  
The article was submitted 20.04.2026; approved after reviewing 08.05.2026; accepted for publication 02.06.2026

### Информация об авторах / Information about the authors

**Виктор Николаевич Крючков** – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; kvn394@rambler.ru

**Вера Ивановна Егорова** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; irbip@astu.ru

**Ирина Владимировна Волкова** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; профессор кафедры математических и естественно-научных дисциплин; Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»; gridasova@mail.ru

**Елизавета Александровна Степаненко** – старший преподаватель кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; liza\_10.03.97@mail.ru

**Viktor N. Kryuchkov** – Doctor of Biological Sciences, Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; kvn394@rambler.ru

**Vera I. Egorova** – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; irbip@astu.ru

**Irina V. Volkova** – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; Professor of the Department of Mathematical and Natural Sciences disciplines; Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin, branch of the Volga State University of Water Transport; gridasova@mail.ru

**Elizaveta A. Stepanenko** – Senior Lecturer of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; liza\_10.03.97@mail.ru

