Научная статья
УДК 619:616-091:639.3.09(597)
doi:10.35694/YARCX.2026.74.2.007

КОМПЛЕКСНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ДИКОГО ПАНГАСИУСА (*PANGASIUS* SP.) В ДЕЛЬТЕ РЕКИ МЕКОНГ (ВЬЕТНАМ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Е. Е. Слынько[1], Н. С. Мурина[2], В. Н. Федорова[3], М. Ле Куанг[4], В. Б. Смирнова[5], М. П. Грушко[6], А. А. Руденко[7], Е. М. Бесфамильная[8], Э. А. Шарыкина[9], Н. Ю. Терпугова[10], Ю. В. Чеботарева[11], Д. Ку Нгуен[12]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия
[10]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия
[11]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, Борок, Россия
[12]Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

Автор, ответственный за переписку: Елена Евгеньевна Слынько,
elena.slynko.76@mail.ru, ORCID 0000-0003-1261-1100

Реферат. Представлены результаты комплексного ветеринарно-санитарного обследования популяций промыслового вида *Pangasius* sp. в различных экологических зонах дельты р. Меконг (Вьетнам). Проведены: гистологическое исследование печени, микроядерный тест на эритроцитах периферической крови и анализ фенодевиаций осевого скелета. Выявлены выраженные дистрофические и некротические изменения гепатоцитов (гидропическая дистрофия), а также достоверное повышение частоты микроядер у молоди (TL < 25 см) по сравнению с крупными половозрелыми особями (TL > 39 см). Полученные данные указывают на неблагополучное состояние здоровья популяций пангасиуса в естественных водоёмах дельты Меконга и обосновывают необходимость постоянного ветеринарного мониторинга качества рыбы, поступающей в торговую сеть.

Ключевые слова: *Pangasius sp., дельта Меконга, гистопатология печени, микроядерный тест, фенодевиации позвоночника, ветеринарно-санитарная оценка*

COMPREHENSIVE BIOLOGICAL AND VETERINARY-SANITARY ASSESSMENT OF THE HEALTH STATUS OF WILD PANGASIUS (*PANGASIUS* SP.) IN THE MEKONG RIVER DELTA (VIETNAM) USING PATHOMORPHOLOGICAL AND CYTOGENETIC METHODS

E. E. Slynko[1], N. S. Murina[2], V. N. Fedorova[3], M. Le Quang[4], V. B. Smirnova[5], M. P. Grushko[6], A. A. Rudenko[7], E. M. Besfamilnaya[8], E. A. Sharykina[9], N. Yu. Terpugova[10], Yu. V. Chebotareva[11], D. Cu Nguyen[12]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]Russian Biotechnological University, Moscow, Russia
[10]Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia
[11]Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Russia
[12]Southern Branch, Vietnam-Russia Tropical Center, Ho Chi Minh City, Vietnam

Author responsible for correspondence: Elena E. Slynko,
elena.slynko.76@mail.ru, ORCID 0000-0003-1261-1100

Abstract. The results of a comprehensive veterinary and sanitary survey of populations of the commercial *Pangasius* sp. in various ecological zones of the Mekong River Delta (Vietnam). Histological examination of the liver, a micronucleus test on peripheral blood erythrocytes and analysis of the axial skeleton phenodeviations were carried out. Pronounced dystrophic and necrotic changes in hepatocytes (hydropic dystrophy) were revealed, as well as a significant increase in the frequency of micronuclei in juveniles (TL < 25 cm) compared to large mature individuals (TL > 39 cm). The data obtained indicate the unfavorable health status of pangasius populations in the natural reservoirs of the Mekong Delta and justify the need for constant veterinary monitoring of the quality of fish entering the trade network.

Keywords: *Pangasius sp., Mekong Delta, liver histopathology, micronucleus test, vertebral phenodeviations, veterinary and sanitary assessment*

Финансирование: работа выполнена в ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» в 2025–2026 гг. при финансовой поддержке университетского гранта «Развитие российско-вьетнамского научно-образовательного сотрудничества в области биоэкономики на основе исследований биоразнообразия Вьетнама».

Введение. Пангасиус (*Pangasius* sp.) является одним из наиболее значимых объектов пресноводной аквакультуры и промысла в странах Юго-Восточной Азии, в частности во Вьетнаме, где его ежегодное производство превышает 1,5 млн тонн [1; 2; 3; 4]. Дельта реки Меконг служит основным ареалом обитания и разведения данного вида [5]. Однако в последние десятилетия экосистема дельты испытывает нарастающее антропогенное давление, связанное с поступлением промышленных стоков, сельскохозяйственных пестицидов, тяжёлых металлов, фармацевтических препаратов и микропластика [6–14]. Эти загрязнители могут накапливаться в тканях гидробионтов, вызывая структурно-функциональные нарушения органов и тканей, снижая пищевую ценность и безопасность рыбной продукции [15; 16].

В ветеринарной практике для оценки состояния здоровья рыб широко применяются патоморфологические методы. Печень, как центральный орган детоксикации, особенно чувствительна к действию отравляющих веществ. Ранее в экспериментальных исследованиях показано, что воздействие тяжёлых металлов (Pb, As, Cr, Mn, Cu) и пестицидов на пангасиуса приводит к развитию гидропической (баллонной) дистрофии, некрозу гепатоцитов и фиброзу [6; 17–21]. Цитогенетический метод микроядерного теста позволяет выявить ранние признаки генотоксического эффекта, а анализ фенодевиаций осевого скелета отражает нарушения эмбрионального и раннего постнатального развития под влиянием неблагоприятных факторов среды [22; 23].

Целью исследований является комплексная ветеринарно-санитарная оценка состояния здоровья диких популяций *Pangasius* sp. в дельте реки Меконг на основе патоморфологического исследования печени, микроядерного теста и анализа скелетных аномалий.

Материалы и методы. *Районы сбора материала.* Отлов рыбы проводился в сентябре – ноябре 2025 г. в двух провинциях Вьетнама: Донг-хап, Виньлонг. Всего было обследовано 87 экземпляров, для которых имелись полные данные по морфометрии и цитогенетическим показателям (табл. 1). Дополнительно у 15 особей из различных точек был взят материал для гистологического исследования печени.

Гистологическое исследование. Фрагменты печени были фиксированы 10%-м нейтральным формалином по стандартной методике с использованием «Изопреп» и залиты в парафин. Проводилась окраска срезов толщиной 5–7 мкм гематоксилином и эозином. Микроскопия осуществлялась с иммерсионным объективом (ув. ×400, ×1000). Были оценены степень дистрофических и некротических изменений, наличие меланомакрофагальных центров, состояние сосудов и экзокринной панкреатической ткани [24; 25].

Микроядерный тест. Мазки периферической крови фиксировались 96%-м этанолом, окрашивались азур-эозином по Романовскому (разведение 1:10). На каждом препарате просчитывалось 2000 эритроцитов. Была проведена регистрация количества клеток с микроядрами, а также других ядерных аномалий (двуядерность, инвагинация ядра, деформация ядра). Частота микроядер выражена в промилле (‰) [26].

Анализ фенодевиаций позвоночника. Скелеты очищались путём кратковременной варки с последующим механическим удалением мягких тканей. Под стереомикроскопом (×10–40) оценивались следующие показатели: общее число позвонков (Vert), число туловищных (Vp) и хвостовых (Vc) позвонков, количество деформированных позвонков, незамкнутых дуг, сращений дуг разных позвонков, деформированных дуг, неразвитых дуг, дополнительных дуг, несращений дуги с телом позвонка, а также асимметричные и неполные сращения тел позвонков [22; 23].

Статистическая обработка. Статистическая значимость различий частот встречаемости признаков между группами была оценена с помощью критерия χ^2 Пирсона, а для количественных переменных – U-критерия Манна–Уитни. Анализ выполнен в программе Statistica (v. 7.0). Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. *Гистопатология печени.* У всех исследованных особей (n = 15) архитектоника печени была нарушена. Во всех образцах отме-

Таблица 1 – Основные гистопатологические изменения в печени диких особей *Pangasius* sp. (n = 15)

Патоморфологический признак	Число особей с признаком	Частота встречаемости, %
Гидропическая (баллонная) дистрофия гепатоцитов	15	100,0
Некроз гепатоцитов (очаговый или диффузный)	15	100,0
Меланомакрофагальные центры	12	80,0
Деструктивные изменения экзокринной панкреатической ткани	14	93,3
Утолщение и разволокнение соединительнотканных прослоек	13	86,7
Паразитарная инвазия (фрагмент паразита с капсулой)	1	6,7

Таблица 2 – Частота микроядер и других ядерных аномалий в эритроцитах периферической крови *Pangasius* sp. в зависимости от общей длины тела (TL)

Показатель	Группа 1 (TL < 25 см), n = 82	Группа 2 (TL > 39 см), n = 5	Вся выборка, n = 87
Частота микроядер, ‰ (M ± m)	6,1 ± 0,9*	0,4 ± 0,2	4,7 ± 0,8
Диапазон частоты микроядер, ‰	0–10	0–1	0–10
Двуядерные эритроциты, %	8,5	0	7,5
Инвагинация ядра, %	3,7	0	2,8
Деформация ядра, %	9,8	0	8,5

Примечание: * – различия достоверны по сравнению с группой 2 (p < 0,01, U-критерий Манна–Уитни).

чены признаки гидропической (баллонной) дистрофии гепатоцитов разной степени выраженности. Цитоплазма клеток была просветлена, ядра смещены к периферии или лизированы.

У 80% рыб регистрировались меланомакрофагальные центры, располагающиеся преимущественно вблизи сосудов и скоплений панкреатической ткани. Экзокринная часть поджелудочной железы, окружающая воротные вены, также была подвержена деструктивным изменениям: ацинусы деформированы, зимогенные гранулы слабо выражены, местами выявлен лизис клеток. У одной особи (провинция Донгтхап) в паренхиме обнаружен фрагмент паразита, окружённый соединительнотканной капсулой с признаками некроза прилежащих гепатоцитов. Соединительнотканные прослойки в области триад были утолщены, разволокнены, что указывает на хронический воспалительный процесс.

Таким образом, наиболее характерными патоморфологическими изменениями печени дикого пангасиуса являлись гидропическая дистрофия, некроз гепатоцитов и наличие меланомакрофагальных центров, что соответствует картине хронического токсического гепатита (табл. 1).

Анализ микроядер и других ядерных аномалий. Средняя частота микроядер по всей выборке составила 4,7 ± 0,8‰ (медиана – 5‰). Однако распределение особей по этому показателю было крайне неоднородным (табл. 2). Чётко выделяются две размерные группы. У рыб с общей длиной тела (TL) менее 25 см (n = 82) частота микроядер варьировала от 0 до 10‰ (среднее 6,1 ± 0,9‰). В то же время у крупных особей с TL > 39 см (n = 5) этот показатель не превышал 1‰ (среднее 0,4 ± 0,2‰). Различия между группами статистически значимы (p < 0,01, критерий Манна–Уитни).

Другие ядерные аномалии встречались значительно реже. Двуядерные эритроциты были зарегистрированы у 8 особей (7,5%), инвагинации ядра – у 3-х (2,8%), деформации ядра – у 9 (8,5%). Частота встречаемости этих нарушений не коррелировала с размером рыбы и местом вылова.

Частота и спектр фенодевиаций позвоночника. Среди 87 особей с полными данными по скелету (исключены образцы с пометкой «целая рыба» или отсутствием измерений) аномалии осевого скелета обнаружены у 34 (38,6%). Наиболее распространёнными типами деформаций были сращения дуг соседних позвонков (21 особь, 23,9%), деформация тел позвонков (17 особей, 19,3%) и незамкнутые дуги (14 особей, 15,9%). Асимметричные сращения тел позвонков и дополнительные дуги встречались реже (6 и 4 случая соответственно) (табл. 3).

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о существенном ухудшении состояния здоровья диких популяций *Pangasius* sp. в дельте Меконга. Ги-

Таблица 3 – Частота встречаемости различных типов фенодевиаций позвоночника у *Pangasius* sp. в дельте реки Меконг (n = 87)

Тип аномалии	Число особей с аномалией	Доля от общего числа, %
Сращение дуг соседних позвонков	21	23,9
Деформация тел позвонков	17	19,3
Незамкнутые дуги	14	15,9
Асимметричное сращение тел позвонков	6	6,8
Дополнительные дуги	4	4,5
Неполное сращение тел позвонков	3	3,4
Деформация дуг	3	3,4
Неразвитые дуги	2	2,3
Несращение дуги с телом позвонка	1	1,1
Всего особей с хотя бы одной аномалией	34	38,6

Примечание: у одной особи могло регистрироваться несколько типов аномалий одновременно.

стологическая картина печени (гидропическая дистрофия, некроз, меланомакрофагальные центры) типична для хронической интоксикации ксенобиотиками. Экспериментальные исследования на *Pangasianodon hypophthalmus* подтверждают, что воздействие тяжёлых металлов (Pb, As, Mn, Cu, Cr), аммиака и повышенной температуры вызывает сходные патоморфологические изменения: гидропическую и жировую дистрофию гепатоцитов, кариопикноз, некроз и образование меланомакрофагальных центров [27; 17–20; 28]. Наличие меланомакрофагальных центров рассматривается как компенсаторно-приспособительная реакция на накопление продуктов распада клеток и токсинов [29; 30]. Выраженный некроз гепатоцитов, обнаруженный у большинства исследованных особей, указывает на срыв адаптационных механизмов и переход процесса в стадию декомпенсации, что неизбежно сказывается на пищевой ценности и безопасности рыбы.

Результаты микроядерного теста демонстрируют высокую генотоксическую нагрузку на молодь пангасиуса. Значительное повышение частоты микроядер в эритроцитах мелких особей (TL < 25 см) может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, молодь более чувствительна к действию мутагенов из-за незрелости систем репарации ДНК и детоксикации. Во-вторых, высокая вариабельность показателя в этой группе (от 0 до 10‰) может отражать мозаичность загрязнения местообитаний и разную степень контакта с генотоксикантами. Аналогичная зависимость частоты микроядер от стадии развития отмечена для *P. hypophthalmus* при воздействии триклозана [8] и карбамазепина [31]. Отсутствие микроядер у крупных половозрелых рыб, напротив, вероятно, связано с элиминацией наиболее ослабленных особей в процессе онтогенеза, а также с возрастным снижением доли молодых эритроцитов, в которых микроядра сохраняются дольше [26]. Следует также учитывать, что хронический окислительный стресс, индуцированный поллютантами, может активировать системы репарации ДНК, однако при длительной экспозиции эти механизмы истощаются [21; 28].

Анализ фенодевиаций указывает на комплексное загрязнение воды в точках вблизи крупных городов и сельскохозяйственных угодий, что, как известно, индуцирует нарушения остеогенеза [22]. Молекулярные исследования на пангасиусе показали, что комбинированный стресс (As + NH_3 + высокая температура) подавляет экспрессию генов гормона роста (GH) и инсулиноподобных факторов роста (IGF), одновременно активируя гены-ингибиторы роста MYST и SMT [9; 28; 31–33]. Подобные эндокринные нарушения могут лежать в основе задержки развития и формирования скелетных аномалий у диких популяций. Высокая частота сращений дуг позвонков и незамкнутых дуг, обнаруженная в нашем исследовании, может приводить к снижению плавательной активности, ухудшению конкурентоспособности и, в конечном итоге, к повышенной смертности в природе.

С ветеринарно-санитарной точки зрения полученные данные вызывают серьёзную озабоченность. Наличие выраженных дистрофических и некротических изменений в печени, а также генетических повреждений у молоди свидетельствует о неблагополучии среды обитания и потенциальном риске накопления токсикантов в мышечной ткани [34]. Учитывая, что пангасиус является одним из основных экспортных продуктов Вьетнама, необходимо усиление контроля за качеством рыбы, вылавливаемой в диких популяциях. Целесообразно внедрение в практику ветеринарно-санитарной экспертизы гистологического и цитогенетического методов как индикаторов хронической интоксикации.

Перспективы дальнейших исследований. Полученные данные открывают несколько направлений для будущих работ. Во-первых, необходимо проведение количественного химического анализа тканей дикого пангасиуса на содержание приоритетных поллютантов (As, Pb, Cd, Hg, Cu, Mn, Cr, пестициды, фармацевтические препараты) для установления прямых корреляций между уровнем накопления токсикантов и выраженностью патоморфологических и цитогенетических нарушений [35]. Во-вторых, целесообразно расширение спектра биомаркеров за счёт включения молекулярно-генетических методов – оценки экспрессии генов оксидативного стресса (SOD, CAT, GPx), детоксикации (CYP450, MT), апоптоза (Cas 3a/3b) и иммунного ответа (TNFα, IL, Ig) в тканях печени и жабр [17; 32; 33]. Это позволит выявить ранние молекулярные признаки токсического воздействия до появления необратимых структурных изменений. В-третьих, представляет интерес изучение состава и функциональной активности кишечного микробиома дикого пангасиуса, поскольку микробиота играет важную роль в детоксикации ксенобиотиков и модуляции иммунного ответа [33]. Наконец, необходимо проведение многолетнего мониторинга в различных экологических зонах дельты Меконга для оценки временной динамики состояния популяций и эффективности природоохранных мероприятий. Разработка панели интегральных биомаркеров, включающей гистопатологические, биохимические и генотоксические показатели, станет важным шагом к созданию научно обоснованной системы ветеринарно-санитарного надзора за качеством рыбной продукции в регионе [8; 28].

Список источников

1. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Rome, Italy : FAO, 2024. 246 p. ISBN 978-92-5-138763-4.

2. Ninh N. T. H., Cuong H. N. Measures Used for Water Quality Management in Intensive Pangasius Catfish Production in Vietnam's Mekong Delta: Experiences from Household Practices and Gender Roles // Vietnam Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 5, No. 4. P. 1674–1689. DOI 10.31817/vjas.2022.5.4.06.

3. Nguyen T. A. T., Nguyen Q. T. T., Tran T. C. [et al.] Balancing the aquatic export supply chain strategy-A case study of the Vietnam pangasius industry // Aquaculture. 2023. Vol. 566. Art. 739139. DOI 10.1016/j.aquaculture.2022.739139.

4. Nguyen T. E., Nguyen T. P., Bui B. H. T. [et al.] Diversification of Aquaculture Production in Relation to Global Change: The Case of the Domestication of Indigenous Euryhaline Catfish Species (Siluriformes) in the Mekong River Delta, Viet Nam // Reviews in Aquaculture. 2026. Vol. 18, Is. 1. Art. e70095. DOI 10.1111/rag.70095.

5. Dong N. X., Veettil B. K., Quang N. X. [et al.] Fish species composition, diversity, and migration in the Mekong Delta: a study in the Cua Tieu River, Vietnam // Environmental Monitoring and Assessment. 2022. Vol. 194, №. Suppl 2. P. 769. DOI 10.1007/s10661-022-10174-w.

6. Lipi J. A., Riya K. K., Nur A.-A. U. [et al.] Human health and ecological risks associated with microplastic contamination in widely consumed catfish from a large-scale estuary // Journal of Food Composition and Analysis. 2025. Vol. 148. Pt. 3. P. 108487. DOI 10.1016/j.jfca.2025.108487.

7. Marcussen H., Løjmand H., Dalsgaard A. [et al.] Copper use and accumulation in catfish culture in the Mekong Delta, Vietnam // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2014. Vol. 49, Is. 2. P. 187–192. DOI 10.1080/10934529.2013.838869.

8. Paul T., Kumar S., Shukla S. P. [et al.] A multi-biomarker approach using integrated biomarker response to assess the effect of pH on triclosan toxicity in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) // Environmental Pollution. 2020. Vol. 260. Art. 114001. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114001.

9. Ahsan Md. E., Islam S. R., Razzak M. A. [et al.] Assessment of heavy metals from pangasius and tilapia aquaculture in Bangladesh and human consumption risk // Aquaculture International. 2022. Vol. 30, No. 3. P. 1407–1434. DOI 10.1007/s10499-022-00903-w.

10. Нгуен Т. Х. В., Грушко М. П., Федорова Н. Н., Чаплыгин В. А. Нарушения гистологического строения печени обыкновенной кильки Clupeonella caspia Svetovidov, 1941 в условиях антропогенной нагрузки // Биология моря. 2024. Т. 50, №3. С. 245–250. DOI 10.31857/S0134347524030072. EDN GTONZI.

11. Hoa V. T. Magnetic-Assisted Electrochemical Detection of Pb^{2+} and Cd^{2+} in Vietnamese Seafood using Fe_3O_4@ UiO-66-Py/rGO // Nanoscale. 2026. Is. 10. P. 5464–5481. DOI 10.1039/D5NR05000F.

12. Łuczyńska J., Pietrzak-Fiećko R., Purkiewicz A., Łuczyński M. J. Assessment of Fish Quality Based on the Content of Heavy Metals // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19, Is. 4. Art. 2307. DOI 10.3390/ijerph19042307.

13. Le N. D., Phung T. X. B., Nguyen T. M. H. [et al.] First assessment of metal contamination and ecological risks in aquaculture ponds in Hanoi city, Vietnam // International Journal of Environmental Science and Technology. 2025. Vol. 22. P. 13525–13544. DOI 10.1007/s13762-025-06448-8.

14. Le H. B., Le H., Nguyen X. H. The Harmful Effect of the Hydro-Electric Dams Upstream of the Mekong River: Effect on the Ecosystems and Livelihoods of People in Mekong Delta, Vietnam // Water Conservation Science and Engineering. 2022. Vol. 7, Is. 1. P. 1–20. DOI 10.1007/s41101-021-00112-1.

15. Kilercioğlu S., Koşker A. R., Evliyaoğlu E. Public health risk assessments associated with heavy metal levels in panga fish fillets imported from Vietnam // International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences. 2022. Vol. 6, №. 4. P. 568–578. DOI 10.31015/jaefs.2022.4.9.

16. Chakma S., Rahman Md. A., Siddik S. M. [et al.] Nutritional Profiling of Wild (Pangasius pangasius) and Farmed (Pangasius hypophthalmus) Pangasius Catfish with Implications to Human Health // Fishes. 2022. Vol. 7, Is. 6. Art. 309. DOI 10.3390/fishes7060309.

17. Kumar N., Thorat S. T., Kochewad S. A. [et al.] Manganese nutrient mitigates ammonia, arsenic toxicity and high temperature stress using gene regulation via NFkB mechanism in fish // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 1273. DOI 10.1038/s41598-024-51740-1.

18. Suchana S. A., Ahmed M. S., Islam S. M. M. [et al.] Chromium Exposure Causes Structural Aberrations of Erythrocytes, Gills, Liver, Kidney, and Genetic Damage in Striped Catfish Pangasianodon hypophthalmus // Biological Trace Element Research. 2021. Vol. 199, No. 10. P. 3869–3885. DOI 10.1007/s12011-020-02490-4.

19. Kumar N., Thorat S. T., Patole P. B. [et al.] Protective role of selenium and selenium-nanoparticles against multiple stresses in Pangasianodon hypophthalmus // Fish Physiology and Biochemistry. 2024. Vol. 50, No. 1. P. 239–258. DOI 10.1007/s10695-023-01231-3.

20. Kumar N., Gismondi E., Reddy K. S. Copper and nanocopper toxicity using integrated biomarker response in Pangasianodon hypophthalmus // Environmental Toxicology. 2024. Vol. 39, No. 3. P. 1581–1600. DOI 10.1002/tox.24058.

21. Paul T., Shukla S. P., Kumar K. [et al.] Effect of temperature on triclosan toxicity in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878): Hematology, biochemistry and genotoxicity evaluation // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 668. P. 104–114. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.02.443.

22. Чеботарева Ю. В., Крылов В. В., Таликина М. Г., Изюмов Ю. Г. Аномалии позвоночника и позвонковые фенотипы сеголеток плотвы Rutilus rutilus (Cyprinidae) после раздельного и совместного воздействия магнитного поля и хлорофоса на эмбрионы // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 3. С. 353–364. DOI 10.31857/S0042875223030049. EDN BXWUOP.

23. Nguyen S., Truyen N. D. H., Tien D. M. [et al.] Skeletal Deformities in Cultured Striped Catfish Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) in the Mekong Delta, Vietnam // Asian Fisheries Science. 2023. Vol. 36. P. 90–99. DOI 10.33997/j.afs.2023.36.2.004.

24. Микодина Е. В., Седова М. А., Чмилевский Д. А. [и др.] Гистология для ихтиологов: Опыт и советы : монография. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2009. 112 с. ISBN 978-5-85382-365-5. EDN UHDDFV.

25. Терпугова Н. Ю., Грушко М. П. Гистологическое исследование новообразований у промысловых видов рыб при ветеринарно-санитарной оценке : метод. рекомендации. М. : ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2025. 40 с. ISBN 978-5-85382-565-9. EDN OVJWKT.

26. Гулаков А. В., Дроздов Д. Н., Иванцов Д. Н. Цитогенетические и цитотоксические эффекты действия ионизирующего излучения на эритроциты крови рыб, обитающих в водоемах на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61, № 2. С. 189–196. DOI 10.31857/S0869803121020090. EDN GHZUQF.

27. Reddy C. P. K., Manikandavelu D., Arisekar U. [et al.] Toxicological effect of endocrine disrupting heavy metal (Pb) on Mekong silurid Pangasius catfish, Pangasius hypophthalmus // Environmental Research. 2023. Vol. 231. Pt. 1. P. 116033. DOI 10.1016/j.envres.2023.116033.

28. Kumar N., Thorat S. T., Chavhan S. R. Multifunctional role of dietary copper to regulate stress-responsive gene for mitigation of multiple stresses in Pangasianodon hypophthalmus // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 2252. DOI 10.1038/s41598-024-51170-z.

29. Грищенко Л. И. Сравнительная патоморфология, вопросы патогенеза и диагностика токсикозов и некоторых инфекционных болезней рыб : автореф. дис. … д-ра ветеринар. наук : 16.00.02 / ФГОУ ВПО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина». М., 2004. 36 с.

30. Nguyen T. H. V., Grushko M. P., Fedorova N. N., Chaplygin V. A. Structural Changes in Liver Histology in Common Kilka Clupeonella caspia Svetovidov, 1941 under Anthropogenic Pressure // Russian Journal of Marine Biology. 2024. Vol. 50, No. 3. P. 169-174. DOI 10.1134/S1063074024700111. EDN MPCALZ.

31. Kumar N., Kumar P., Reddy K. S. Mitigating combined toxic effects of arsenic, ammonia, and high temperature through dietary Iron in fish // Frontiers in Immunology. 2026. Vol. 17. Art. 1733912. DOI 10.3389/fimmu.2026.1733912.

32. Kumar N., Thorat S. T., Gite A. [et al.] Nano-copper Enhances Gene Regulation of Non-specific Immunity and Antioxidative Status of Fish Reared Under Multiple Stresses // Biological Trace Element Research. 2023. Vol. 201, No. 10. P. 4926–4950. DOI 10.1007/s12011-023-03575-6.

33. Sahu V. K., Karmakar S., Kumar S. [et al.] Triclosan toxicity alters behavioral and hematological parameters and vital antioxidant and neurological enzymes in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) // Aquatic Toxicology. 2018. Vol. 202. P. 145–152. DOI 10.1016/j.aquatox.2018.07.009.

34. Xie X., Zhang C., Zulfahmi I. [et al.] Fatty Liver in Fish: Metabolic Drivers, Molecular Pathways and Physiological Solutions // Animals. 2026. Vol. 16, Is. 2. P. 236. DOI 10.3390/ani16020236.

35. Струков А. И., Серов В. В. Патологическая анатомия : учебник для студентов медицинских вузов. 5-е изд., стер. М. : Литтерра, 2010. 846 с. ISBN 978-5-904090-26-5. EDN QLVNOT.

References

1. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Rome, Italy : FAO, 2024. 246 p. ISBN 978-92-5-138763-4.

2. Ninh N. T. H., Cuong H. N. Measures Used for Water Quality Management in Intensive Pangasius Catfish Production in Vietnam's Mekong Delta: Experiences from Household Practices and Gender Roles // Vietnam Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 5, No. 4. P. 1674–1689. DOI 10.31817/vjas.2022.5.4.06.

3. Nguyen T. A. T., Nguyen Q. T. T., Tran T. C. [et al.] Balancing the aquatic export supply chain strategy-A case study of the Vietnam pangasius industry // Aquaculture. 2023. Vol. 566. Art. 739139. DOI 10.1016/j.aquaculture.2022.739139.

4. Nguyen T. E., Nguyen T. P., Bui B. H. T. [et al.] Diversification of Aquaculture Production in Relation to Global Change: The Case of the Domestication of Indigenous Euryhaline Catfish Species (Siluriformes) in the Mekong River Delta, Viet Nam // Reviews in Aquaculture. 2026. Vol. 18, Is. 1. Art. e70095. DOI 10.1111/rag.70095.

5. Dong N. X., Veettil B. K., Quang N. X. [et al.] Fish species composition, diversity, and migration in the Mekong Delta: a study in the Cua Tieu River, Vietnam // Environmental Monitoring and Assessment. 2022. Vol. 194, №. Suppl 2. P. 769. DOI 10.1007/s10661-022-10174-w.

6. Lipi J. A., Riya K. K., Nur A.-A. U. [et al.] Human health and ecological risks associated with microplastic contamination in widely consumed catfish from a large-scale estuary // Journal of Food Composition and Analysis. 2025. Vol. 148. Pt. 3. P. 108487. DOI 10.1016/j.jfca.2025.108487.

7. Marcussen H., Løjmand H., Dalsgaard A. [et al.] Copper use and accumulation in catfish culture in the Mekong Delta, Vietnam // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2014. Vol. 49, Is. 2. P. 187–192. DOI 10.1080/10934529.2013.838869.

8. Paul T., Kumar S., Shukla S. P. [et al.] A multi-biomarker approach using integrated biomarker response to assess the effect of pH on triclosan toxicity in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) // Environmental Pollution. 2020. Vol. 260. Art. 114001. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114001.

9. Ahsan Md. E., Islam S. R., Razzak M. A. [et al.] Assessment of heavy metals from pangasius and tilapia aquaculture in Bangladesh and human consumption risk // Aquaculture International. 2022. Vol. 30, No. 3. P. 1407–1434. DOI 10.1007/s10499-022-00903-w.

10. Nguen T. Kh. V., Grushko M. P., Fedorova N. N., Chaplygin V. A. Narusheniya gistologicheskogo stroeniya pecheni obyknovennoj kil'ki Clupeonella caspia Svetovidov, 1941 v usloviyah antropogennoj nagruzki // Biologiya morya. 2024. T. 50, №3. C. 245–250. DOI 10.31857/S0134347524030072. EDN GTONZI.

11. Hoa V. T. Magnetic-Assisted Electrochemical Detection of Pb^{2+} and Cd^{2+} in Vietnamese Seafood using Fe_3O_4@ UiO-66-Py/rGO // Nanoscale. 2026. Is. 10. P. 5464–5481. DOI 10.1039/D5NR05000F.

12. Łuczyńska J., Pietrzak-Fiećko R., Purkiewicz A., Łuczyński M. J. Assessment of Fish Quality Based on the Content of Heavy Metals // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19, Is. 4. Art. 2307. DOI 10.3390/ijerph19042307.

13. Le N. D., Phung T. X. B., Nguyen T. M. H. [et al.] First assessment of metal contamination and ecological risks in aquaculture ponds in Hanoi city, Vietnam // International Journal of Environmental Science and Technology. 2025. Vol. 22. P. 13525–13544. DOI 10.1007/s13762-025-06448-8.

14. Le H. B., Le H., Nguyen X. H. The Harmful Effect of the Hydro-Electric Dams Upstream of the Mekong River: Effect on the Ecosystems and Livelihoods of People in Mekong Delta, Vietnam // Water Conservation Science and Engineering. 2022. Vol. 7, Is. 1. P. 1–20. DOI 10.1007/s41101-021-00112-1.

15. Kilercioğlu S., Koşker A. R., Evliyaoğlu E. Public health risk assessments associated with heavy metal levels in panga fish fillets imported from Vietnam // International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences. 2022. Vol. 6, №. 4. P. 568–578. DOI 10.31015/jaefs.2022.4.9.

16. Chakma S., Rahman Md. A., Siddik S. M. [et al.] Nutritional Profiling of Wild (Pangasius pangasius) and Farmed (Pangasius hypophthalmus) Pangasius Catfish with Implications to Human Health // Fishes. 2022. Vol. 7, Is. 6. Art. 309. DOI 10.3390/fishes7060309.

17. Kumar N., Thorat S. T., Kochewad S. A. [et al.] Manganese nutrient mitigates ammonia, arsenic toxicity and high temperature stress using gene regulation via NFkB mechanism in fish // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 1273. DOI 10.1038/s41598-024-51740-1.

18. Suchana S. A., Ahmed M. S., Islam S. M. M. [et al.] Chromium Exposure Causes Structural Aberrations of Erythrocytes, Gills, Liver, Kidney, and Genetic Damage in Striped Catfish Pangasianodon hypophthalmus // Biological Trace Element Research. 2021. Vol. 199, No. 10. P. 3869–3885. DOI 10.1007/s12011-020-02490-4.

19. Kumar N., Thorat S. T., Patole P. B. [et al.] Protective role of selenium and selenium-nanoparticles against multiple stresses in Pangasianodon hypophthalmus // Fish Physiology and Biochemistry. 2024. Vol. 50, No. 1. P. 239–258. DOI 10.1007/s10695-023-01231-3.

20. Kumar N., Gismondi E., Reddy K. S. Copper and nanocopper toxicity using integrated biomarker response in Pangasianodon hypophthalmus // Environmental Toxicology. 2024. Vol. 39, No. 3. P. 1581–1600. DOI 10.1002/tox.24058.

21. Paul T., Shukla S. P., Kumar K. [et al.] Effect of temperature on triclosan toxicity in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878): Hematology, biochemistry and genotoxicity evaluation // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 668. P. 104–114. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.02.443.

22. Chebotareva Yu. V., Krylov V. V., Talikina M. G., Izyumov Yu. G. Anomalii pozvonochnika i pozvonkovye fenotipy segoletok plotvy Rutilus rutilus (Cyprinidae) posle razdel'nogo i sovmestnogo vozdejstviya magnitnogo polya i hlorofosa na embriony // Voprosy ihtiologii. 2023. T. 63, № 3. S. 353–364. DOI 10.31857/S0042875223030049. EDN BXWUOP.

23. Nguyen S., Truyen N. D. H., Tien D. M. [et al.] Skeletal Deformities in Cultured Striped Catfish Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) in the Mekong Delta, Vietnam // Asian Fisheries Science. 2023. Vol. 36. P. 90–99. DOI 10.33997/j.afs.2023.36.2.004.

24. Mikodina E. V., Sedova M. A., Chmilevskij D. A. [i dr.] Gistologiya dlya ihtiologov: Opyt i sovety : monografiya. M. : Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut rybnogo hozyajstva i okeanografii, 2009. 112 s. ISBN 978-5-85382-365-5. EDN UHDDFV.

25. Terpugova N. Yu., Grushko M. P. Gistologicheskoe issledovanie novoobrazovanij u promyslovyh vidov ryb pri veterinarno-sanitarnoj ocenke : metod. rekomendacii. M. : GNC RF FGBNU «VNIRO», 2025. 40 s. ISBN 978-5-85382-565-9. EDN OVJWKT.

26. Gulakov A. V., Drozdov D. N., Ivantsov D. N. Citogeneticheskie i citotoksicheskie effekty dejstviya ioniziruyushchego izlucheniya na eritrocity krovi ryb, obitayushchih v vodoemah na territorii Polesskogo gosudarstvennogo radiacionno-ekologicheskogo zapovednika // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2021. T. 61, № 2. S. 189–196. DOI 10.31857/S0869803121020090. EDN GHZUQF.

27. Reddy C. P. K., Manikandavelu D., Arisekar U. [et al.] Toxicological effect of endocrine disrupting heavy metal (Pb) on Mekong silurid Pangasius catfish, Pangasius hypophthalmus // Environmental Research. 2023. Vol. 231. Pt. 1. P. 116033. DOI 10.1016/j.envres.2023.116033.

28. Kumar N., Thorat S. T., Chavhan S. R. Multifunctional role of dietary copper to regulate stress-responsive gene for mitigation of multiple stresses in Pangasianodon hypophthalmus // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 2252. DOI 10.1038/s41598-024-51170-z.

29. Grishchenko L. I. Sravnitel'naya patomorfologiya, voprosy patogeneza i diagnostika toksikozov i nekotoryh infekcionnyh boleznej ryb : avtoref. dis. … d-ra veterinar. nauk : 16.00.02 / FGOU VPO «Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny i biotekhnologii im. K. I. Skryabina». M., 2004. 36 s.

30. Nguyen T. H. V., Grushko M. P., Fedorova N. N., Chaplygin V. A. Structural Changes in Liver Histology in Common Kilka Clupeonella caspia Svetovidov, 1941 under Anthropogenic Pressure // Russian Journal of Marine Biology. 2024. Vol. 50, No. 3. P. 169-174. DOI 10.1134/S1063074024700111. EDN MPCALZ.

31. Kumar N., Kumar P., Reddy K. S. Mitigating combined toxic effects of arsenic, ammonia, and high temperature through dietary Iron in fish // Frontiers in Immunology. 2026. Vol. 17. Art. 1733912. DOI 10.3389/fimmu.2026.1733912.

32. Kumar N., Thorat S. T., Gite A. [et al.] Nano-copper Enhances Gene Regulation of Non-specific Immunity and Antioxidative Status of Fish Reared Under Multiple Stresses // Biological Trace Element Research. 2023. Vol. 201, No. 10. P. 4926–4950. DOI 10.1007/s12011-023-03575-6.

33. Sahu V. K., Karmakar S., Kumar S. [et al.] Triclosan toxicity alters behavioral and hematological parameters and vital antioxidant and neurological enzymes in Pangasianodon hypophthalmus (Sauvage, 1878) // Aquatic Toxicology. 2018. Vol. 202. P. 145–152. DOI 10.1016/j.aquatox.2018.07.009.

34. Xie X., Zhang C., Zulfahmi I. [et al.] Fatty Liver in Fish: Metabolic Drivers, Molecular Pathways and Physiological Solutions // Animals. 2026. Vol. 16, Is. 2. P. 236. DOI 10.3390/ani16020236.

35. Strukov A. I., Serov V. V. Patologicheskaya anatomiya : uchebnik dlya studentov medicinskih vuzov. 5-e izd., ster. M. : Litterra, 2010. 846 s. ISBN 978-5-904090-26-5. EDN QLVNOT.

Сведения об авторах

Елена Евгеньевна Слынько – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией генетики и ПЦР-анализа, доцент кафедры биоэкологии и биологической безопасности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 4927-5457.

Наталья Сергеевна Мурина – проректор по международной деятельности, трансферу технологий и коммерциализации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 5959-8857.

Варвара Николаевна Федорова – студент Института ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Ман Ле Куанг – аспирант Института ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Виктория Борисовна Смирнова – студент Института ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Мария Павловна Грушко – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 3598-7835.

Андрей Анатольевич Руденко – доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 6403-6832.

Екатерина Михайловна Бесфамильная – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники пищевых производств, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 8711-2711.

Эльза Анатольевна Шарыкина – кандидат экономических наук, доцент кафедры управления бизнесом и сервисных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 9492-6343.

Надежда Юрьевна Терпугова – ведущий специалист Департамента аквакультуры, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», spin-код: 5485-9250.
Юлия Владимировна Чеботарева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории популяционной биологии и генетики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, spin-код: 7288-2136.
Динь Ку Нгуен – кандидат биологических наук (Ph.D.), старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Южное отделение.

Information about the authors
Elena E. Slynko – Candidate of Biological Sciences, Docent, Head of the Laboratory of Genetics and PCR Analysis, Associate Professor of the Department of Bioecology and Biological Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 4927-5457.
Natalya S. Murina – Vice-Rector for International Affairs, Technology Transfer and Commercialization Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 5959-8857.
Varvara N. Fedorova – student of the Institute of Veterinary Medicine, Veterinary Sanitary Expertise and Agrosafety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University".
Man Le Quang – Postgraduate student of the Institute of Veterinary Medicine, Veterinary and Sanitary Expertise, and Agricultural Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University".
Victoriya B. Smirnova – student of the Institute of Veterinary Medicine, Veterinary and Sanitary Expertise, and Agricultural Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University".
Mariya P. Grushko – Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Veterinary Medicine, Veterinary and Sanitary Expertise, and Agricultural Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 3598-7835.
Andrey A. Rudenko – Doctor of Veterinary Sciences, Docent, Professor of the Department of Veterinary Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 6403-6832.
Ekaterina M. Besfamilnaya – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 8711-2711.
Elsa A. Sharykina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Department of Business Management and Service Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 9492-6343.
Nadezhda Yu. Terpugova – Leading Specialist of the Department of Aquaculture, Russian Federal "Research Institute of Fisheries and Oceanography", spin-code: 5485-9250.
Yuliya V. Chebotareva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Population Biology and Genetics, Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, spin-code: 7288-2136.
Din Cu Nguyen – Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Senior Researcher at the Laboratory of Hydrobiology, Joint Russian-Vietnamese Tropical Scientific Research and Technological Center, Southern Branch.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.