

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 639.3.091:556.5

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

Поступила в редакцию 03.10.2025

Received 03.10.2025

**В. Г. Костоусов, В. И. Лишко, В. А. Ласица, Т. И. Попиначенко,
М. И. Панасюк, О. Д. Апсолихова**

*Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЧИН ГИБЕЛИ РЫБ

Аннотация. Представлены результаты гидрохимического анализа, проведенного с целью установления причин массовой гибели рыбы. Рассмотрены ключевые показатели качества воды, включая концентрации растворенного кислорода, аммонийного азота, нитратов, фосфатов, а также уровни pH и температуры. Эти параметры были выбраны в качестве индикаторов, наиболее чувствительных к изменениям в водной среде и способных отразить общее состояние экосистемы. Особое внимание уделено сезонной динамике изменения гидрохимических показателей. Анализ выявил отклонение ряда параметров от предельно допустимых норм, что указывает на возможное антропогенное загрязнение водоемов. Полученные данные позволяют установить связь между изменениями гидрохимического состава воды и наблюдаемыми случаями гибели рыбы, что может служить основой для разработки мер по предупреждению подобных экологических инцидентов в будущем. Такие меры могут включать усиление контроля за источниками сбросов, внедрение программ очистки сточных вод и проведение регулярного мониторинга состояния водоемов.

Ключевые слова: гидрохимия, водоем, замор, водохранилище, рыба

Для цитирования: Оценка качества среды при выявлении причин гибели рыб / В. Г. Костоусов, В. И. Лишко, В. А. Ласица [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 1. – С. 69–75. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

**Vladimir G. Kostousov, Vlad I. Lishko, Vlad A. Lasitsa, Taisiya I. Popinachenko,
Maria I. Panasyuk, Olga D. Apsolikhova**

Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

HABITAT AS A TOOL FOR IDENTIFYING THE CAUSES OF MASS FISH DEATHS

Abstract. The results of a hydrochemical analysis conducted to determine the causes of mass death of fish are presented. The key indicators of water quality, including concentrations of dissolved oxygen, ammonium nitrogen, nitrates, phosphates, as well as pH and temperature levels, are considered. These parameters were chosen as the indicators most sensitive to changes in the aquatic environment and able to reflect the overall state of the ecosystem. Special attention is paid to the seasonal dynamics of changes in hydrochemical parameters. The analysis revealed a deviation of a number of parameters from the maximum permissible norms, which indicates possible anthropogenic pollution of water bodies. The data obtained make it possible to establish a link between changes in the hydrochemical composition of water and observed fish deaths, which can serve as a basis for developing measures to prevent similar environmental incidents in the future. Such measures may include increased control over discharge sources, the introduction of wastewater treatment programs, and regular monitoring of the condition of reservoirs.

Keywords: hydrochemistry, water, overseas, reservoir, fish

For citation: Kostousov V. G., Lishko V. I., Lasitsa V. A., Popinachenko T. I., Panasyuk M. I., Apsolikhova O. D. Habitat as a tool for identifying the causes of mass fish deaths. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 69–75 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-1-69-75>

Введение. В водоемах Беларуси в последние годы участились случаи массовой гибели рыбы в период открытой воды, что не укладывается в принятые представления о заморных явлениях. Среди возможных причин рассматривают различные абиотические и биотические факторы, но показатели качества среды обитания имеют особое значение, поскольку могут выступать лимитирующим фактором по ряду показателей. В водных системах крайне важен баланс физических, химических и биологических факторов для поддержания жизнедеятельности всех составляющих водной биоты, и в частности ихтиофауны.

Все эти факторы тесно связаны между собой и непрерывно меняются в динамичной водной системе. Поэтому так важно отслеживать показатели качества воды. Одним из основных биоиндикаторов качества воды могут выступать рыбы, поскольку по их состоянию можно отследить нарушения в водной среде. В качестве полигонов исследований были выбраны Осиповичское и Чигиринское водохранилища (Могилевская область). Выбор объектов для наблюдения обоснован тем, что вдхр. Осиповичское служит приемником вод р. Свислочь, а Чигиринское широко используется для рекреации, при этом в обоих водоемах были отмечены периодические случаи гибели рыб. Эти случаи необъяснимой массовой гибели рыбного населения показали необходимость исследований качества среды обитания для выяснения возможных причин заморов и предотвращения более широких экологических последствий.

В водных экосистемах лимитирующими для рыб выступают чаще всего газовый режим и элементы солевого состава, способные при изменении температуры и активной реакции среды оказывать негативное или токсическое воздействие.

Дефицит растворенного кислорода определяется балансом насыщения и потребления и имеет сезонную специфику. Основным потребителем кислорода в естественных и искусственных водоемах выступает микробное сообщество, участвующее в трансформации органического вещества и ответственное за окислительно-восстановительные процессы. Повышение содержания легкоокисляемой органики в воде даже в летний период способно формировать дефицит растворенного кислорода за счет возрастания интенсивности его потребления. В свою очередь, повышенные концентрации ряда химических компонентов способны оказывать токсическое воздействие на внутренние органы рыб вне зависимости от их происхождения (природное или антропогенное).

Химические загрязнители могут попадать в водоемы различными путями. Основными источниками загрязнений являются сельскохозяйственные стоки, содержащие продукты отходов животноводства и удобрения, а также коммунальные стоки, промышленные сточные воды, приводящие к попаданию загрязнителей в поверхностные водные объекты.

По степени потенциальной угрозы особое внимание было уделено концентрациям азотсодержащих веществ (нитраты, нитриты, аммонийный азот). Азотистые соединения являются продуктами метаболизма белка в организме рыб. В воде азот представлен как альбуминной формой, так и продуктами ее распада под воздействием микроорганизмов. Некоторые из них могут представлять угрозу для жизнедеятельности рыб. В целом слаботоксичный ионизированный аммиак (NH_4^+) при определенных условиях может переходить в токсичный неионизированный аммиак (NH_3), способный вызывать аммиачный токсикоз и блокировать потребление кислорода.

Повышенные концентрации ионизированного аммиака (NH_4^+) влияют на метаболический статус водных позвоночных, нарушая сокращение мышц из-за конкуренции с ионами калия, присутствующими в мышечной мембране [1]. Он способен вызывать нейротоксичность, деполяризуя нейроны и истощая АТФ (аденозинтрифосфорная кислота), что может привести к гибели клеток [2].

Также потенциальную угрозу представляет концентрация нитрит-ионов (NO_2^-), которая в системах аквакультуры с высокой плотностью населения водными организмами может достигать токсичных концентраций, поэтому строго регламентируется. Они являются промежуточным продуктом при бактериальном окислении аммиака до нитратов. Это азотистое соединение высокотоксично для водных организмов и представляет потенциальную угрозу для рыбы в естественных водоемах.

Воздействие нитритов влияет на показатели крови, что приводит к гипоксии метгемоглобина и гемолитической анемии. Это вызывает повреждение тканей, а также нарушение обмена веществ [3, 4]. Нитраты могут попадать в организм рыб путем диффузии в жаберном эпителии [5, 6]. Повышенная концентрация нитратов в организме влияет на потребление пищи, скорость роста [7, 8], способность плавать, репродуктивные способности [9, 10], приводит к нарушениям в развитии [11] и снижает выживаемость [12].

Материалы и методы исследований. В качестве полигонов наблюдения в период проведения исследований были выбраны два водохранилища – Чигиринское и Осиповичское, на которых зафиксированы массовые случаи гибели рыбы. Русловые водохранилища Чигиринское

(система р. Друць) и Осиповичское (система р. Свислочь) используются для целей энергетики, коммунального и рыбного хозяйства, рекреации. Сбор и обработку проб для характеристики гидрохимического режима данных водных объектов осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками [13, 14] в разные гидрологические сезоны (зима, весна и летне-осенняя межень) с поверхностного и придонного горизонтов. Результаты были приведены к интегрированному показателю.

Пробы отбирались по трем створам: по нижнему и верхнему, а также по середине водохранилищ. Оценку качества вод водохранилищ по показателям загрязнения биогенными элементами проводили в соответствии с требованиями постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 15 декабря 2023 г. № 15-Т «Об утверждении экологических норм и правил»¹ (далее – постановление № 15Т) [15].

Результаты и их обсуждение. Результаты основных показателей представлены в таблице.

Показатели качества воды исследованных водоемов

Water quality indicators of the studied reservoirs

Показатель	Единицы измерения	Норматив по СТБ 1943-2009 ¹	Водоем и период проведения исследований					
			подледный		весенний		лето – осень	
			вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское	вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское	вдхр. Чигиринское	вдхр. Осиповичское
Прозрачность	м	0,75–1,0	1,0	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9
Температура	°С	До 28	1,6	1,9	7,1	7,8	20,3	18,8
pH	–	6,5–8,5	8,0	8,1	8,5	8,5	8,2	8,8
Концентрация O ₂	мг/л	>5,0	5,3	5,22	10,72	11,65	6,38	10,01
Концентрация NO ₂ ⁻	мг/л	До 0,020	0,005	0,026	0,008	0,019	0,013	0,142
-//- NH ₄ ⁺	мг/л	До 0,1	0,86	1,89	0,47	0,85	0,16	0,79
-//- NH ₃	мг/л	До 0,05	–	–	0,026	0,048	0,006	0,048
-//- NO ₃ ⁻	мг/л	До 2,0	0,28	0,19	3,89	5,87	0,59	5,62
-//- P _{мин}	мг/л	До 0,5	0,066	0,40	0,05	0,44	0,032	0,285
-//- Fe _{общ}	мг/л	До 1,8	0,29	0,20	0,16	0,15	0,19	0,12
Жесткость общая	мг-экв/л	1,5–7,0	4,7	4,5	3,4	4,2	3,75	4,25
-//- Ca ²⁺	мг/л	Не нормируется	60,0	58,0	44	52	47,0	55,0
-//- Mg ²⁺	мг/л	Не нормируется	20,0	19,0	15	19,4	16,5	18,0
Окисляемость перманганатная	мгО/л	До 15,0	9,49	9,58	15,69	16,38	10,02	8,59

Температурный режим в анализируемых водоемах в подледный период соответствовал сезонному распределению и едва ли мог иметь негативные последствия для рыбы. В водоемах наблюдалась обратная стратификация водной массы с некоторым повышением температуры воды от поверхности льда ко дну.

Газовый режим в Чигиринском и Осиповичском водохранилищах в подледный период отмечен некоторым снижением содержания растворенного кислорода по отношению к оптимуму, но величины не выходили за критические для рыб значения. Активная реакция среды щелочная (pH = 8,0–8,1), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций.

По солевому составу вода Чигиринского и Осиповичского водохранилищ относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу со средней жесткостью (4,5–4,7 мг-экв/л). Лимитирующее значе-

¹ Об утверждении экологических норм и правил: постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 15 дек. 2023 г. № 15-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p> (дата обращения: 03.09.2025).

² Вода рыбоводческих прудов. Требования: СТБ 1943-2009. Введен 01.08.2009. Мн.: Гостандарт, 2009. 16 с.

ние для рыб в подледный период могут иметь концентрации биогенных элементов, участие которых в окислительно-восстановительных реакциях отражается на газовом режиме. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора отмечены в обоих водоемах, нитритного азота – в вдхр. Осиповичское. Последнее по показателям загрязнения характеризуется как «сильно загрязненное» и «весьма грязное» [15], что обусловлено тем фактором, что водоем служит приемником вод р. Свислочь ниже сброса очистных сооружений г. Минска.

Аммонийный азот при повышенных значениях рН (более 7,5) способен переходить в токсичный свободный аммиак и вызывать острые токсикозы рыб. Фоновый показатель безопасного содержания аммонийного азота для поверхностных водоемов рыбохозяйственного назначения, согласно постановлению № 15Т, составляет до 0,39 мг/л, тогда как в подледный период концентрации ионизированного аммония достигали в вдхр. Чигиринское 0,86 мг/л, а в вдхр. Осиповичское и вовсе 1,89 мг/л. При сложившемся температурном фоне воды такое содержание ионов аммония способно поддерживать концентрацию неионизированного аммиака около 0,01 мг/л, что не выходит за рамки допустимых значений для рыбоводных прудов (0,01–0,07 мг/л – СТБ 1943-2009). Следовательно, аммиачный токсикоз при наблюдаемом температурном фоне не являлся угрозой для жизнедеятельности рыб.

В целом по показателям прозрачности воды, ее солевого состава и окисляемости анализируемые водоемы следует отнести к эвтрофному типу водоемов (α - и β -мезосапробные).

Таким образом, в подледный период основным лимитирующим фактором выступает прежде всего кислородный режим водоемов, прочие факторы среды имеют лишь опосредованное значение через их воздействие на газовый режим водоемов.

В ранневесенний период гидрохимический режим во многом определяется снеговым паводком и уровнем выносимых с водосбора растворенных биогенов. В силу невысокой фотосинтетической активности в этот период концентрации биогенов (соединений азота и фосфора) могут достигать больших величин, чем в другие месяцы открытого сезона. Температура воды в изучаемых водоемах соответствовала ожидаемым сезонным значениям и вряд ли могла нанести какой-либо вред рыбам (см. таблицу). В водоемах наблюдалась гомотермия водной массы с некоторым повышением температуры воды у поверхности.

Газовый режим в водохранилищах в условиях ледового покрова и невысоких температур воды достаточно благоприятный. Активная реакция среды щелочная ($\text{pH} = 7,8\text{--}8,5$), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций и сезонным развитием холодолюбивых микроводорослей.

В весенний период вода была средней жесткости (3,4–4,2 мг-экв/л). Некоторое снижение общей жесткости обусловлено сезонным фактором (поступление менее минерализованных вод со снеговым паводком), что сказывается на общем соотношении ионов щелочноземельных металлов, обычно поступающих с грунтовым питанием. Лимитирующее значение для рыб в весенний период могут иметь реакция среды (рН) и концентрации некоторых биогенных элементов, участие которых в окислительно-восстановительных реакциях отражается на газовом режиме. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора, отмеченные в подледный период, в результате химической и бактериальной деструкции несколько снизились, но оставались достаточно высокими.

Содержание токсичного неионизированного аммиака отмечается на уровне следов и в таком виде не способно оказывать негативного воздействия на рыб. В то же время содержание конечного продукта нитрофикации – нитратного азота возросло в Чигиринском и Осиповичском водохранилищах, что подчеркивает степень их антропогенного загрязнения. Избыточное соединение форм минерального азота в воде на фоне слабощелочной или щелочной реакции среды может сказываться на процессах выведения продуктов метаболизма (в виде аммиака) из организмов рыб, вызывая у некоторых из них (например, карп, толстолобик) поражения жаберного аппарата с последующей контаминацией микрофлорой и частичной гибелью рыб.

Показатели качества воды в летний период определяются особенностями питания и характером водосбора водоемов, уровнем внутриводоемных продукционных процессов и степенью развития первичных продуцентов.

Температурный режим в летний период (см. таблицу) в анализируемых водоемах соответствовал сезонному распределению и едва ли мог иметь негативные последствия для рыбы. В водоемах наблюдалась гомотермия водной массы с некоторым повышением температуры воды у поверхности.

Газовый режим в водохранилищах в условиях открытой воды и высокой интенсивности фотосинтеза первичных продуцентов был достаточно благоприятным и не лимитировал жизнедеятельность основной массы видов рыб. Активная реакция среды щелочная ($\text{pH} = 8,2\text{--}8,8$), что обусловлено преобладанием восстановительных реакций и сезонным развитием микроводорослей.

Общая жесткость по сравнению с весенним периодом не изменилась в значительной степени и также оставалась на уровне 3,4–4,2 мг-экв/л. Повышенные концентрации аммонийного азота и минерального фосфора, отмеченные в подледный и весенний периоды, в результате химической и бактериальной деструкции снизились, сохраняя высокие значения только в вдхр. Осиповичское, подверженном постоянному загрязнению от поступлений с водосбора и коммунальных стоков. Как и в весенний период, содержание токсичного неионизированного аммиака отмечается на уровне следов и не способно негативно воздействовать на рыб. Содержание нитратного азота значительно снизилось в вдхр. Чигиринское. В Осиповичском содержание нитратного азота также несколько снизилось, но все еще оставалось на высоком уровне, что подчеркивает степень антропогенного загрязнения. Это может сказываться на интенсивности процессов выведения рыбой продуктов белкового обмена через жаберный аппарат и способствовать возникновению жаберных заболеваний [15–17].

Выводы. В ходе исследования установлен ряд негативных факторов, определяющих экологическое состояние водоемов в разные сезоны.

В зимний (подледный) период основным лимитирующим фактором выступает кислородный режим. Концентрации растворенного кислорода по всем точкам наблюдений не достигали критических значений и соответствовали минимально необходимому количеству для жизнедеятельности рыб. Однако другие показатели и накопление органических веществ могли способствовать формированию условий гипоксии. Концентрации аммонийного азота и минерального фосфора были значительно повышены, особенно в вдхр. Осиповичское, однако переход в токсичные формы при сложившемся температурном режиме был ограничен.

В весенний период, в условиях снеговой паводка, наблюдалось снижение концентраций аммонийного азота, но рост нитратного азота, особенно в вдхр. Осиповичское, свидетельствует о продолжающемся антропогенном загрязнении. При этом слабощелочная реакция среды и высокая минерализация могут вызывать нарушения в обменных процессах у рыб и поражения жаберного аппарата, особенно у чувствительных видов.

Летний период характеризовался благоприятными условиями газообмена.

Таким образом, была выявлена высокая концентрация биогенных соединений и устойчивое антропогенное загрязнение, особенно выраженное в вдхр. Осиповичское. Критические значения для жизни рыб на момент исследований достигнуты не были, следовательно, условия абиотического характера не могли служить единственной причиной отмеченных случаев гибели рыб. Для установления истинной причины следует проводить дальнейший мониторинг и дополнительно рассмотреть такие факторы, как «цветение» воды сине-зелеными водорослями (наличие цианотоксинов), бактериальная обсемененность водной массы, различные заболевания рыб.

Список использованных источников

1. Camargo, J. A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment / J. A. Camargo, A. Alonso // Environment International. – 2006. – Vol. 32, № 6. – P. 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
2. The interactive effects of ammonia exposure, nutritional status and exercise on metabolic and physiological responses in gold fish (*Carassius auratus* L.) / A. K. Sinha, H. J. Liew, M. Diricx [et al.] // Aquatic Toxicology. – 2012. – Vol. 109. – P. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.11.002>
3. Acute toxicity of nitrite and ammonia to *Daphnia similoides* of different developmental stages: using the modified Gaussian model to describe / F. Xiang, W. Yang, Y. Chen, Z. Yang // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2010. – Vol. 84, № 6. – P. 708–711. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0017-x>

4. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite / M. J. dos Santos Silva, F. F. B. da Costa, F. P. Leme [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 616–617. – P. 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
5. Jensen, F. B. Uptake, elimination and effects of nitrite and nitrate in freshwater crayfish (*Astacus astacus*) / F. B. Jensen // *Aquatic Toxicology*. – 1996. – Vol. 34, № 2. – P. 95–104. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(95\)00030-8](https://doi.org/10.1016/0166-445X(95)00030-8)
6. Stormer, J. Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: effects on ionic balance / J. Stormer, F. B. Jensen, J. C. Rankin // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1996. – Vol. 53, № 9. – P. 1943–1950. <https://doi.org/10.1139/cjfas-53-9-1943>
7. The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) / E. Schram, J. A. C. Roques, W. Abbink [et al.] // *Aquaculture Research*. – 2014. – Vol. 45, № 9. – P. 1499–1511. <https://doi.org/10.1111/are.12098>
8. Stelzer, R. S. Effects of elevated nitrate concentration on mortality, growth, and egestion rates of *Gammarus pseudolimnaeus* amphipods / R. S. Stelzer, B. L. Joachim // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2010. – Vol. 58, № 3. – P. 694–699. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9384-x>
9. Alonso, Á. Nitrate causes deleterious effects on the behaviour and reproduction of the aquatic snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca) / Á. Alonso, J. A. Camargo // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. 20, № 8. – P. 5388–5396. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1544-x>
10. Egea-Serrano, A. Contrasting effects of nitrogenous pollution on fitness and swimming performance of Iberian waterfrog, *Pelophylax perezi* (Seoane, 1885), larvae in mesocosms and field enclosures / A. Egea-Serrano, M. Tejado // *Aquatic Toxicology*. – 2014. – Vol. 146. – P. 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.11.003>
11. Mallasen, M. Effects of nitrate concentration on larval development of the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii* / M. Mallasen, W. C. Valenti, D. Ismael // *Journal of Applied Aquaculture*. – 2004. – Vol. 14, № 3–4. – P. 55–69. https://doi.org/10.1300/J028v14n03_05
12. Acute tolerance and histopathological effects of ammonia on juvenile maroon clownfish *Premnas biaculeatus* (Bleeker 1790) / R. V. Rodrigues, L. A. Romano, M. H. Schwarz [et al.] // *Aquaculture Research*. – 2014. – Vol. 45, № 7. – P. 1133–1139. <https://doi.org/10.1111/are.12054>
13. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте [и др.]. – Даугавпилс: Даугавпил. ун-т «Сауле», 2017. – 282 с.
14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Гидрохим. ин-т; под ред. А. Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
15. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Окснюк, В. Н. Жукин-ский, Л. П. Брагинский [и др.] // *Гидробиологический журнал*. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.
16. Икhtiопатология / под ред. Н. А. Головиной, О. Н. Бауера. – М.: Мир, 2003. – 448 с.
17. Грищенко, Л. И. Болезни рыб и основы рыбоводства: учебник / Л. И. Грищенко, М. Ш. Акбаев, Г. Л. Васильков. – М.: Колос, 1999. – 455 с.

References

1. Camargo J. A., Alonso Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International*, 2006, vol. 32, no. 6, pp. 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
2. Sinha A. K., Liew H. J., Diricx M., Blust R., De Boeck G. The interactive effects of ammonia exposure, nutritional status and exercise on metabolic and physiological responses in gold fish (*Carassius auratus* L.). *Aquatic Toxicology*, 2012, vol. 109, pp. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.11.002>
3. Xiang F., Yang W., Chen Y., Yang Z. Acute toxicity of nitrite and ammonia to *Daphnia similoides* of different developmental stages: using the modified Gaussian model to describe. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, vol. 84, no. 6, pp. 708–711. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0017-x>
4. Dos Santos Silva M. J., da Costa F. F. B., Leme F. P., Takata R., Costa D. C., Mattioli C. C., Miranda-Filho K. C. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 616, pp. 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
5. Jensen F. B. Uptake, elimination and effects of nitrite and nitrate in freshwater crayfish (*Astacus astacus*). *Aquatic Toxicology*, 1996, vol. 34, no. 2, pp. 95–104. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(95\)00030-8](https://doi.org/10.1016/0166-445X(95)00030-8)
6. Stormer J., Jensen F. B., Rankin J. C. Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow, *Oncorhynchus mykiss*: effects on ionic balance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, vol. 53, no. 9, pp. 1943–1950. <https://doi.org/10.1139/cjfas-53-9-1943>
7. Schram E., Roques J. A., Abbink W., Yokohama Y., Spanings T., de Vries P., Bierman S., Van de Vis H., Flik G. The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, 2014, vol. 45, no. 9, pp. 1499–1511. <https://doi.org/10.1111/are.12098>
8. Stelzer R. S., Joachim B. L. Effects of elevated nitrate concentration on mortality, growth, and egestion rates of *Gammarus pseudolimnaeus* amphipods. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, vol. 58, no. 3, pp. 694–699. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9384-x>
9. Alonso Á., Camargo J. A. Nitrate causes deleterious effects on the behaviour and reproduction of the aquatic snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, no. 8, pp. 5388–5396. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1544-x>

10. Egea-Serrano A., Tejado M. Contrasting effects of nitrogenous pollution on fitness and swimming performance of Iberian waterfrog, *Pelophylax perezi* (Seoane, 1885), larvae in mesocosms and field enclosures. *Aquatic Toxicology*, 2014, vol. 146, pp. 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.11.003>
11. Mallasen M., Valenti W. C., Ismael D. Effects of nitrate concentration on larval development of the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Applied Aquaculture*, 2004, vol. 14, no. 3–4, pp. 55–69. https://doi.org/10.1300/J028v14n03_05
12. Rodrigues R. V., Romano L. A., Schwarz M. H., Delbos B., Sampaio L. A. Acute tolerance and histopathological effects of ammonia on juvenile maroon clownfish *Premnas biaculeatus* (Block 1790). *Aquaculture Research*, 2014, vol. 45, no. 7, pp. 1133–1139. <https://doi.org/10.1111/are.12054>
13. Plotnikov G. K., Peskova T. Y., Shkute A., Pupin A., Pupins M. *Collection of classical methods of hydrobiological research for use in aquaculture*. Daugavpils, Daugavpils University Academic Press “Saule”, 2017. 282 p. (in Russian).
14. Semenov A. D. (ed.). *Guidelines for the chemical analysis of land surface waters*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 541 p. (in Russian).
15. Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Braginskii L. P., Linnik P. N., Kuz'menko M. I., Klenus V. G. Comprehensive ecological classification of land surface water quality. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Hydrobiological Journal*, 1993, vol. 29, no. 4, pp. 62–76 (in Russian).
16. Golovina N. A., Bauer O. N. (eds.). *Ichthyopathology*. Moscow, Mir Publ., 2003. 448 p. (in Russian).
17. Grishchenko L. I., Akbaev M. Sh., Vasil'kov G. L. *Fish diseases and fundamentals of fish farming*. Moscow, Kolos Publ., 1999. 455 p. (in Russian).

Информация об авторах

Костюсов Владимир Геннадьевич – кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Лижко Владислав Иванович – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Ласица Владислав Александрович – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Попиначенко Таисия Ивановна – старший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Панасюк Мария Игоревна – младший научный сотрудник лаборатории рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Апсольхова Ольга Дмитриевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией рыбоводства и рыболовства в естественных водоемах, Институт рыбного хозяйства, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Information about the authors

Vladimir G. Kostousov – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Deputy Director of the Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Vlad I. Lishko – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Vlad A. Lasitsa – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Taisiya I. Popinachenko – Senior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Maria I. Panasyuk – Junior Researcher of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com

Olga D. Apsolikhova – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Fish Farming and Fisheries in Natural, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lablakeirh@gmail.com