

UDC 597:504.4.054
AGRIS P01

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/117/15>

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАСПИЙСКОГО МОРЯ: СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ СИАЗАНЬСКОГО РЕГИОНА

©Юсифова С. Л., ORCID: 0000-0002-0553-6424, канд. биол. наук, Институт физиологии им. акад. Абдуллы Гараева, г. Баку, Азербайджан, abdulkerimovas@mail.ru

©Мамедова Г. Р., ORCID: 0000-0002-6556-0901, канд. биол. наук, Азербайджанская спортивная академия, г. Баку, Азербайджан, mammadova.gulnar@mail.ru

©Палатников Г. М., ORCID: 0000-0002-5395-3126, SPIN-код: 7950-3700, канд. биол. наук, Институт физиологии им. акад. Абдуллы Гараева, г. Баку, Азербайджан, gmpal@mail.ru

ECOPHYSIOLOGICAL MONITORING OF CASPIAN SEA COASTAL ECOSYSTEMS: STATE OF THE ICHTHYOFAUNA IN THE SIYAZAN REGION

©Yusifova S., ORCID: 0000-0002-0553-6424, Ph.D., Academician Abdulla Garayev Institute of Physiology, Baku, Azerbaijan, abdulkerimovas@mail.ru

©Mammadova G., ORCID: 0000-0002-6556-0901, Ph.D., Azerbaijan Sports Academy, Baku, Azerbaijan, mammadova.gulnar@mail.ru

©Palatnikov G., ORCID: 0000-0002-5395-3126, SPIN-code: 7950-3700, Ph.D., Academician Abdulla Garayev Institute of Physiology, Baku, Azerbaijan, gmpal@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты морского мониторинга, проведенного в Сиязанской прибрежной зоне Азербайджанского сектора Каспийского моря. В рамках исследования осуществлен генотоксический анализ эритроцитов периферической крови и гистологическое исследование жабр и печени выловленных рыб. Генотоксическое исследование эритроцитов выявило ряд морфологических aberrаций, включая микроядра, деформацию ядер, их атипичное внутриклеточное смещение и изменение нормальной формы эритроцитов, но выявленные показатели генотоксических нарушений находились в пределах референсных значений. Гистологический анализ жабр продемонстрировал такие изменения, как гиперплазия и искривление вторичных ламелл, адгезии и сращение апикальных участков вторичных ламелл. Результаты гистопатологического исследования печени исследованных видов рыб выявили такие альтерации как гипертрофия гепатоцитов, дилатация синусоидов, венозный застой и скопления меланомacroфагов. Обнаруженные изменения в эритроцитах крови и гистологические сдвиги в жабрах и печени исследованных рыб могут быть интерпретированы как реакции защитно-приспособительного характера, отражающие воздействие факторов среды обитания.

Abstract. This study presents the results of marine monitoring conducted in the Siyazan coastal zone of the Azerbaijani sector of the Caspian Sea. As part of the study, a genotoxic analysis of peripheral blood erythrocytes and a histological examination of the gills and liver of sampled fish were performed. The genotoxic study of erythrocytes revealed a number of morphological aberrations, including micronuclei, nuclear deformation, their atypical intracellular displacement, and changes in the normal shape of erythrocytes; however, the identified indicators of genotoxic alterations were within reference values. Histological analysis of the gills demonstrated changes such as hyperplasia and curvature of the secondary lamellae, adhesions, and fusion of the apical parts of the secondary lamellae. The results of histopathological examination of the liver of the

studied fish species revealed alterations such as hepatocyte hypertrophy, sinusoidal dilation, venous congestion, and melanomacrophage aggregates. The observed alterations in blood erythrocytes and histological shifts in the gills and liver of the studied fish can be interpreted as protective-adaptive responses reflecting the impact of environmental factors.

Ключевые слова: Сиязаньская прибрежная зона, рыбы, генотоксичность, жабры, печень.

Keywords: Siyazan coastal zone, fish, genotoxicity, gills, liver.

Последнее столетие ознаменовалось широким размахом деятельности человека во всех сферах экономики, что повлекло за собой глубокое и повсеместное ухудшение состояния окружающей среды и привело к критическому истощению природных ресурсов, в числе которых находится Каспийское море [1].

Этот крупнейший в мире континентальный водоем подвержен целому спектру серьезных экологических проблем. Однако среди всех негативных факторов, включая изменение уровня моря и потерю биоразнообразия, ключевой и доминирующей угрозой его экосистеме является загрязнение [2].

Активизация шельфовых работ, связанных с разведкой и добычей нефти и газа, несомненно играет значимую роль в контаминации [3].

Существенный вклад в увеличение токсикологической нагрузки вносят промышленные стоки предприятий химической и нефтехимической отраслей, а также диффузное загрязнение, обусловленное неконтролируемым применением агрохимикатов (удобрений и пестицидов) в сельскохозяйственном производстве [4].

Данная проблема приобретает особую актуальность для прибрежных территорий Азербайджана, характеризующихся высокой плотностью населения и развитой рекреационной инфраструктурой, включающей жилые массивы, санаторно-курортные комплексы, сезонные жилые постройки, детские оздоровительные учреждения и пляжные зоны [5].

Эксплуатация водных биологических ресурсов (гидробионтов) и рекреационное использование акватории местным населением и прибывающими туристами создает прямые пути экспозиции, что неизбежно приводит к потенциальному воздействию загрязнения морской среды на здоровье человека [6].

Внедрение очистных сооружений способствовало некоторому снижению концентраций ряда загрязняющих веществ. Тем не менее, динамическая нестабильность экологической обстановки в Каспийском море подчеркивает острую необходимость в проведении регулярных, систематических исследовательских экспедиций в его прибрежные зоны [7].

В контексте сложившейся экологической обстановки, Министерством экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики реализуется программа систематического мониторинга состояния морской среды Каспийского моря. В мае 2021 года в рамках реализации стратегии экологического мониторинга был проведен целенаправленный анализ различных участков прибрежной зоны Каспийского моря, включая Сиязаньский район. Основная цель исследования заключалась в оценке текущего экологического состояния водной среды с использованием биоиндикации на основе изучения здоровья рыб. Следует отметить, что рыбы широко используются в качестве биоиндикаторов в токсикологических исследованиях. Это обусловлено их высокой чувствительностью к изменениям параметров окружающей среды, что позволяет эффективно отслеживать загрязнение и другие стрессовые факторы [8].

Реализация поставленных задач осуществлялась посредством применения комплекса современных методов, направленных на генотоксикологическую и гистопатологическую оценку состояния различных тканей рыб. Генотоксический анализ, часто используемый в мониторингах, включает оценку ядерных aberrаций в качестве достоверных маркеров цитотоксических эффектов [9].

Гистопатологические изменения в органах-мишенях, в частности в жабрах и печени, выполняющих у рыб функции дыхания и детоксикации ксенобиотиков, являются общепризнанными биомаркерами в программах мониторинга состояния окружающей среды [10].

Материал и методы исследования

1. *Сбор биологического материала.* В ходе морского мониторинга Сиязаньской прибрежной зоны Каспийского моря был осуществлен траловый отлов рыб. Всего было отловлено 46 особей рыб. Видовой состав и количество отловленных особей был следующим: 12 особей кефали (*Liza saliens*), 13 особей бычка (*Neogobius fluviatilis*), 10 особей каспийской воблы (*Rutilus rutilus caspicus*) и 11 особей каспийского пузанка (*Alosa caspia caspia*). Все протоколы обращения с животными проводились в соответствии с Европейской директивой 2010/63/EU и были одобрены местным этическим комитетом.

2. *Отбор и первичная фиксация образцов.* Сразу после отлова рыба помещалась в резервуары с водным раствором MS-222 (трикаин метасульфонат, Sigma-Aldrich) для анестезии. Для проведения генотоксического анализа осуществлялся забор крови из каудальной вены. С целью предотвращения коагуляции крови использовались гепаринизированные инъекционные шприцы с иглами. Полученные мазки крови высушивались на воздухе при комнатной температуре и фиксировались в абсолютном метаноле. Для последующего гистологического исследования были отобраны жабры со второй жаберной дуги, а также образцы печени. Извлеченные образцы жабр и печени незамедлительно фиксировались в 4%-ном растворе нейтрального забуференного формалина (phosphate-buffered formalin).

3. *Транспортировка образцов.* Подготовленные мазки крови и фиксированные образцы жабр и печени транспортировались в лабораторию Института физиологии для последующей обработки и исследования.

4. *Методы генотоксического исследования крови.* Мазки крови окрашивались по Романовскому-Гимза с использованием набора реагентов производства Sigma. Оценка цитопатологических изменений ядер эритроцитов проводилась методом световой микроскопии с применением иммерсионной оптики при общем увеличении $\times 1200$ (объектив $\times 100$, окуляр $\times 12$). Частоту встречаемости клеток с патологическими ядрами (ПЯ) рассчитывали по следующей формуле: $\text{ПЯ} = n/N \times 100\%$, где n — количество клеток с патологическими ядрами, N — общее количество подсчитанных клеток (1000 клеток на каждом слайде). Фотодокументирование осуществлялось при помощи цифровой микроскопической камеры Motic.

5. *Методы гистологического исследования тканей.* Для выполнения гистологического исследования фиксированные образцы жабр и печени подвергались стандартной процедуре гистологической проводки, включающей последовательную дегидратацию в спиртах возрастающей концентрации и последующую заливку в парафин. С помощью санного микротомы были изготовлены серийные гистологические срезы толщиной 7 мкм. Депарафинизация срезов осуществлялась путем последовательной инкубации в ксилоле и растворах этанола убывающей концентрации. Полученные срезы были окрашены

гематоксилином и эозином и заключены под покровное стекло с использованием монтирующей среды Canadian balsam [11].

Микроскопическое исследование гистологических препаратов проводилось на световом микроскопе NU-2 (Karl Zeiss, Jena) с последующим фотодокументированием изображений с использованием цифровой камеры Motic.

Результаты и обсуждение

При микроскопии препаратов крови исследованных рыб были обнаружены различные генотоксические сдвиги. В частности, фиксировалось наличие микроядер в отдельных клетках, деформация ядер, их атипичное смещение в клетке, изменение нормальной формы эритроцитов. Количественное содержание выявленных патологий находилось в диапазоне от 1,52% до 2,6% (Таблица).

Таблица

ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК В ЭРИТРОЦИТАХ РЫБ

<i>Виды рыб</i>	<i>Процентное содержание патологических ядер в эритроцитах крови рыб (на 1000 эритроцитов)</i>
Кефаль (<i>Liza saliens</i>)	1.65 ± 0.13
Бычок (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	2.05 ± 0.63
Вобла (<i>Rutilus rutilus caspicus</i>)	2.31 ± 0.32
Пузанок (<i>Alosa caspia caspia</i>)	1.84 ± 0.17

Результаты гистопатологического анализа жаберного аппарата исследованных видов рыб выявили ряд морфологических изменений, свидетельствующих о воздействии факторов окружающей среды.

У особей кефали наряду с нормальной организацией жабр, были зарегистрированы такие отклонения, как гиперплазия дыхательного эпителия, искривление вторичных лепестков, а также их сращение (Рисунок 1).

При анализе жабр особей бычка-песочника были обнаружены выраженное утолщение и гиперплазия вторичных ламелл, отслоение дыхательного эпителия, а также искривление и отек вторичных ламелл (Рисунок 2).

Следует отметить, что в ряде случаев значительная гиперплазия дыхательного эпителия приводила к сращению (слипанию) соседних жаберных ламелл, нарушая нормальную респираторную поверхность. Гистопатологическое исследование жабр каспийской воблы также выявило ряд характерных изменений, включая искривление и отек вторичных ламелл, отслоение дыхательного эпителия, а также специфическое сращение апикальных участков ламелл по одной линии (Рисунок 3).

У особей пузанка были зафиксированы отслоение дыхательного эпителия у основания первичных ламелл, сращение апикальных участков вторичных ламелл, а также искривление и отек (Рисунок 4).

Гистопатологический анализ печени рыб выявил ряд морфологических изменений сходной по степени выраженности. У всех четырёх видов рыб были отмечены в основном увеличение размеров гепатоцитов, скопление макрофагов в паренхиме печени, расширение синусоидов и застойные явления в кровяных сосудах (Рисунок 5, 6).

В ходе микроскопического анализа препаратов мазков крови рыб, отловленных в акватории района Сиязань, был выявлен ряд морфологических аномалий эритроцитов. Спектр наблюдаемых изменений включал наличие микроядер, деформацию ядер, атипичное их смещение в клетке, а также альтерации формы эритроцитов. В то же время, суммарная

частота встречаемости всех зарегистрированных патологий во всех исследованных образцах не превышала установленного порогового значения нормы в 5%.

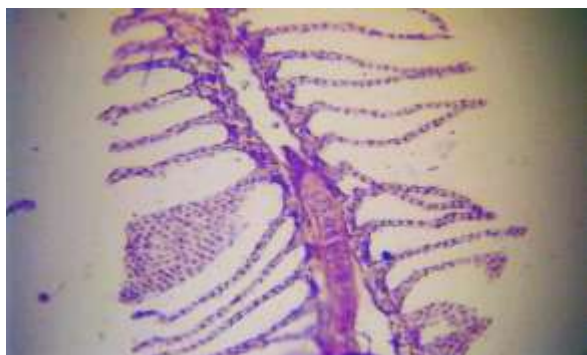


Рисунок 1. Жабры кефали. Неравномерная гиперплазия респираторного эпителия, искривление и сращение апикальных участков вторичных ламелл (X200)

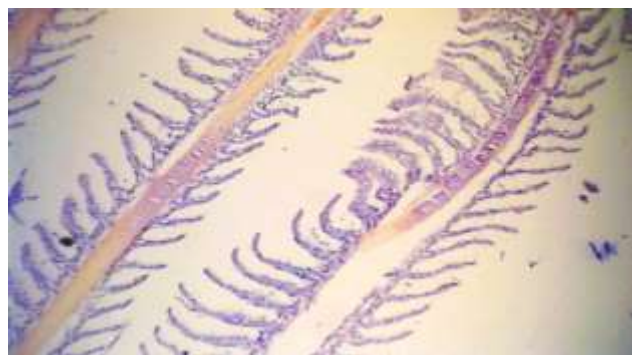


Рисунок 2. Жабры бычка. Утолщение и гиперплазия вторичных ламелл (X200)



Рисунок 3. Жабры воблы. Отслоение респираторного эпителия и слияние апикальных участков вторичных ламелл в одну линию (X400)



Рисунок 4. Жабры пузанка. Сращение апикальных участков вторичных ламелл, искривление вторичных ламелл, отёки (X200)

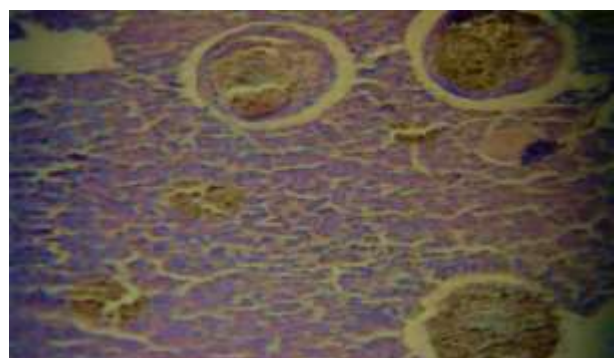


Рисунок 5. Меланомacroфаговые центры и расширение синусоидов (x400)

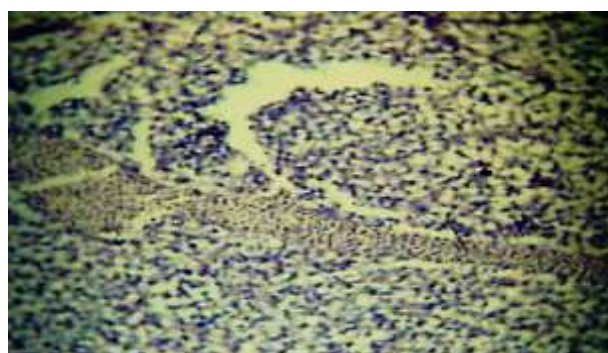


Рисунок 6. Гипертрофия гепатоцитов и стагнация крови в сосудах печени (x400)

Параллельно проведенное комплексное гистопатологическое исследование жабр и печени у тех же рыб продемонстрировало наличие морфологических изменений в тканях обоих органов. Установлено, что выявленные патологические изменения носят преимущественно сходный, однотипный характер как в жабрах, так и в печени исследованных особей.

Спектр обнаруженных изменений в жабрах включал отслоение и гиперплазию дыхательного эпителия, искривление и сращение вторичных ламелл, отёки. Наиболее часто встречаемыми и выраженными патологическими изменениями в жабрах являлись отслоение эпителия и гиперплазия вторичных ламелл. Известно, что данные патологии приводят к увеличению диффузионного барьера между кровеносным руслом и водной средой, что потенциально затрудняет процессы газообмена в респираторном эпителии. Аналогичные функциональные последствия могут возникать вследствие слияния смежных ламелл и адгезии апикальных участков вторичных ламелл, что приводит к уменьшению дыхательной поверхности вторичных ламелл, и, следовательно, к затруднению дыхания рыб [12].

Отек является частью воспалительной реакции на повреждение тканей, вызванное стрессором. Хотя отек может временно снижать поступление вредных веществ, он также нарушает нормальный газообмен и ионный баланс. На ранних стадиях оно может способствовать изоляции поврежденной области и запуску процессов восстановления. Тот факт, что выявленные изменения классифицируются как патологии I степени, предполагает их потенциальную обратимость при оптимизации условий окружающей среды [13].

В печени были зафиксированы такие изменения, как гипертрофия гепатоцитов, стагнация крови в кровяных сосудах, расширение синусоидов, мелано-макрофагальные центры. Расширение просвета печеночных синусоидов и венозный застой может указывать на нарушение микроциркуляции, что является следствием воздействия загрязняющих веществ [14].

Меланомакрофаги представляют собой клетки иммунной системы, скопление которых может свидетельствовать об иммунном ответе на различные стрессовые факторы или патогены [15].

Данные морфологические изменения, согласно литературным данным, часто носят обратимый характер при устранении воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды и могут рассматриваться как адаптивные реакции организма на условия обитания [16].

Вместе с тем, наличие данных патологий может указывать на воздействие различных стрессоров, включая химическое загрязнение, гипоксию или инфекционные агенты, и требует дальнейшего комплексного исследования для определения их этиологии и потенциальных последствий для физиологического состояния рыб [17].

Таким образом, наблюдаемые гистопатологические изменения в жабрах и печени, наряду с выявленными эритроцитарными аномалиями, служат индикаторами стрессовой реакции организма рыб на текущие условия обитания в исследуемой акватории.

Полученные результаты согласуются с результатами мониторинга северной и южной части дельты реки Кура [18].

Заключение

Микроскопический анализ крови и гистопатологическое исследование жабр и печени рыб, выловленных в акватории района Сиязань, выявил ряд изменений в изученных тканях. Несмотря на то, что частота встречаемости морфологических аномалий эритроцитов не превышает значения нормы, обнаруженные изменения в виде микроядер, деформации и атипичного смещения ядер, являются потенциальными индикаторами генотоксического воздействия. Большинство зафиксированных патологий в жабрах и печени классифицируются как адаптивные, но их наличие указывает на присутствие стрессоров в акватории. Согласованность полученных результатов с данными мониторинга дельты реки Кура подчеркивает региональный характер проблемы и необходимость дальнейшего комплексного изучения факторов, вызывающих наблюдаемые патологические изменения.

Список литературы:

1. Bakhshalizadeh S., Abbasi K., Mora-Medina R., Ayala-Soldado N. Multivariate analysis and risk assessment associated with the consumption of carnivorous fish obtained from southwest Caspian Sea // *Environmental Pollution*. 2024. V. 363. P. 125127. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125127>
2. Mahmudov Y. On environmental factors affecting biodiversity of the caspian sea and taken elimination measures // *Advances in Biology & Earth Sciences*. 2023. V. 8. №2.
3. Зейналова К. З. Экологическое состояние Каспийского моря и охрана ее акватории от загрязнения нефтепродуктами // *Приволжский научный вестник*. 2015. №4-2(44). С. 99-102.
4. Mityagina M. I., Kostianoy A. G. Areas of heavy permanent oil pollution of the Caspian Sea surface identified by use of satellite remote sensing // *Ecologica Montenegrina*. 2024. V. 76. P. 49-62. <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.3>
5. Асланов Г. К., Салимова В. Г., Ягубов Р. М. Экологические и экономические последствия повышения уровня Каспийского моря в Азербайджане. // *Бюллетень науки и практики*. 2020. Т. 6. №3. С. 208-214. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/52/22>
6. Kumaraswamy T. R., Javeed S., Javaid M., Naika K. Impact of pollution on quality of freshwater ecosystems // *Fresh water pollution dynamics and remediation*. Singapore: Springer Singapore, 2019. P. 69-81. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8277-2_5
7. Fazli H., Daryanabard G. R., Pourgholami A., Hoseini S. A., Mirzaei M. R., Bahreini P. Influence of climate drivers and fishing effort on fish stock condition using dynamic factor analysis: a case study from the Caspian Sea // *Scientia Marina*. 2024. V. 88. №4. P. e089-e089. <https://doi.org/10.3989/scimar.05546.089>
8. Hasan J., Ferdous S. R., Abi Rabiya S. B., Hossain M. F., Hasan A. M., Shahjahan M. Histopathological responses and recovery in gills and liver of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to diesel oil // *Toxicology reports*. 2022. V. 9. P. 1863-1868. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.10.005>
9. Hussain B., Sultana T., Sultana S., Masoud M. S., Ahmed Z., Mahboob, S. Fish ecogenotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution // *Saudi journal of biological sciences*. 2018. V. 25. №2. P. 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.048>
10. Nataraj B., Hemalatha D., Rangasamy B., Maharajan K., Ramesh M. Hepatic oxidative stress, genotoxicity and histopathological alteration in fresh water fish *Labeo rohita* exposed to organophosphorus pesticide profenofos // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2017. V. 12. P. 185-190. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.006>
11. Роскин Г. Л., Левинсон Л. Б. Микроскопическая техника. М.: Наука; 1957. 486 с.
12. Рагимова Н. Г. Гистопатологическое исследование жабр сазана (*Cyprinus carpio* L.) при воздействии ацетата свинца // *Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Материалы VI Всероссийской конференции*. 2017. С. 84-85.
13. Carvalho T. L., Nascimento A. A., Gonçalves C. F., Santos M. A., Sales A. Assessing the histological changes in fish gills as environmental bioindicators in Paraty and Sepetiba bays in Rio de Janeiro, Brazil // *Latin american journal of aquatic research*. 2020. V. 48. №4. P. 590-601. <http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue4-fulltext-2351>
14. Brancatelli G., Furlan A., Calandra A., Dioguardi Burgio M. Hepatic sinusoidal dilatation // *Abdominal Radiology*. 2018. V. 43. №8. P. 2011-2022. <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1465-8>

15. Steinel N. C., Bolnick D. I. Melanomacrophage centers as a histological indicator of immune function in fish and other poikilotherms // *Frontiers in immunology*. 2017. V. 8. P. 827. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00827>
16. Viana H. C., Jesus W. B., Silva S. K. L., Jorge M. B., Santos D. M. S., Neta R. C. Aggregation of hepatic melanomacrophage centers in *S. herzbergii* (Pisces, Ariidae) as indicators of environmental change and well-being // *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021. V. 73. №04. P. 868-876. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12327>
17. Lopes F. F. Fish diseases analysis used as bioindicators for water quality and its importance for environmental monitoring // *Intern. J. Zool. Invest.* 2021. V. 7. №1. P. 01-16. <https://doi.org/10.33745/ijzi.2021.v07i01.001>
18. Yusifova S. L., Ragimova N. G., Palatnikov G. M. Assessment of the state of the ecological situation of the Kura River mouth seashore // *Azerbaijan Journal of Physiology*. 2024. V. 39. №1. P. 5-12. <https://doi.org/10.59883/ajp.82>

References:

1. Bakhshalizadeh, S., Abbasi, K., Mora-Medina, R., & Ayala-Soldado, N. (2024). Multivariate analysis and risk assessment associated with the consumption of carnivorous fish obtained from southwest Caspian Sea. *Environmental Pollution*, 363, 125127.
2. Mahmudov, Y. (2023). On environmental factors affecting biodiversity of the Caspian Sea and taken elimination measures. *Advances in Biology & Earth Sciences*, 8(2).
3. Zeinalova, K. Z. (2015). Ekologicheskoe sostoyanie Kaspiiskogo morya i okhrana ee akvatorii ot zagryazneniya nefteproduktami. *Privolzhskii nauchnyi vestnik*, (4-2 (44)), 99-102. (in Russian).
4. Mityagina, M. I., & Kostianoy, A. G. (2024). Areas of heavy permanent oil pollution of the Caspian Sea surface identified by use of satellite remote sensing. *Ecologica Montenegrina*, 76, 49-62. <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.3>
5. Aslanov, G., Salimova, V., & Yakubov, R. (2020). Environmental and Economic Implications Rise in the Level of the Caspian Sea in Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*, 6(3), 208-214. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/52/22>
6. Kumaraswamy, T. R., Javeed, S., Javaid, M., & Naika, K. (2019). Impact of pollution on quality of freshwater ecosystems. In *Fresh water pollution dynamics and remediation* (pp. 69-81). Singapore: Springer Singapore.
7. Fazli, H., Daryanabard, G. R., Pourgholami, A., Hoseini, S. A., Mirzaei, M. R., & Bahreini, P. (2024). Influence of climate drivers and fishing effort on fish stock condition using dynamic factor analysis: a case study from the Caspian Sea. *Scientia Marina*, 88(4), e089-e089.
8. Hasan, J., Ferdous, S. R., Abi Rabiya, S. B., Hossain, M. F., Hasan, A. M., & Shahjahan, M. (2022). Histopathological responses and recovery in gills and liver of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to diesel oil. *Toxicology reports*, 9, 1863-1868.
9. Hussain, B., Sultana, T., Sultana, S., Masoud, M. S., Ahmed, Z., & Mahboob, S. (2018). Fish eco-genotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution. *Saudi journal of biological sciences*, 25(2), 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.048>
10. Nataraj, B., Hemalatha, D., Rangasamy, B., Maharajan, K., & Ramesh, M. (2017). Hepatic oxidative stress, genotoxicity and histopathological alteration in fresh water fish *Labeo rohita* exposed to organophosphorus pesticide profenofos. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12, 185-190. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.006>

11. Roskin, G. L., & Levinson, L. B. (1957). *Mikroskopicheskaya tekhnika*. Moscow. . (in Russian).
12. Ragimova, N. G. (2017). Gistopatologicheskoe issledovanie zhabr sazana (*Cyprinus carpio* L.) pri vozdeistvii atsetata svintsa. In *Antropogennoe vliyanie na vodnye organizmy i ekosistemy: Materialy VI Vserossiiskoi konferentsii*, 84-85. (in Russian).
13. Carvalho, T. L. A. D. B., Nascimento, A. A. D., Gonçalves, C. F. D. S., Santos, M. A. J. D., & Sales, A. (2020). Assessing the histological changes in fish gills as environmental bioindicators in Paraty and Sepetiba bays in Rio de Janeiro, Brazil. *Latin american journal of aquatic research*, 48(4), 590-601. <http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue4-fulltext-2351>
14. Brancatelli, G., Furlan, A., Calandra, A., & Dioguardi Burgio, M. (2018). Hepatic sinusoidal dilatation. *Abdominal Radiology*, 43(8), 2011-2022. <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1465-8>
15. Steinel, N. C., & Bolnick, D. I. (2017). Melanomacrophage centers as a histological indicator of immune function in fish and other poikilotherms. *Frontiers in immunology*, 8, 827. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00827>
16. Viana, H. C., Jesus, W. B., Silva, S. K. L., Jorge, M. B., Santos, D. M. S., & Neta, R. C. (2021). Aggregation of hepatic melanomacrophage centers in *S. herzbergii* (Pisces, Ariidae) as indicators of environmental change and well-being. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(04), 868-876. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12327>
17. Lopes, F. F. (2021). Fish diseases analysis used as bioindicators for water quality and its importance for environmental monitoring. *Intern. J. Zool. Invest*, 7(1), 01-16. <https://doi.org/10.33745/ijzi.2021.v07i01.001>
18. Yusifova, S. L., Ragimova, N. G., & Palatnikov, G. M. (2024). Assessment of the state of the ecological situation of the Kura River mouth seashore. *Azerbaijan Journal of Physiology*, 39(1), 5-12. <https://doi.org/10.59883/ajp.82>

Работа поступила
в редакцию 29.05.2025 г.

Принята к публикации
07.06.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Юсифова С. Л., Мамедова Г. Р. Палатников Г. М. Эколого-физиологический мониторинг прибрежных экосистем Каспийского моря: состояние ихтиофауны Сиязаньского региона // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №8. С. 112-120. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/117/15>

Cite as (APA):

Yusifova, S., Mammadova, G., & Palatnikov, G. (2025). Ecophysiological Monitoring of Caspian Sea Coastal Ecosystems: State of the Ichthyofauna in the Siyazan Region. *Bulletin of Science and Practice*, 11(8), 112-120. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/117/15>