

УДК: 574.5(285.2):595.7

*Туйназарова Ирода Абдубакиевна, Ph.D. к.б.н.
старший преподаватель кафедры «Экологии и охраны труда»*

Джизакский политехнический институт

Республика Узбекистан, г. Джизак

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИОИНДИКАЦИИ ПРЕСНОВОДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СООБЩЕСТВ ЛИЧИНОК НАСЕКОМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ.

***Аннотация:** В обзоре рассмотрены принципы биоиндикации водных экосистем с использованием сообществ личинок насекомых (EPT, Chironomidae). Показано, что комбинация классических биотических индексов и методов ДНК-баркодирования повышает точность оценки антропогенного воздействия. Подчёркивается важность учёта региональной специфики для корректной интерпретации данных биоиндикации.*

***Ключевые слова:** биоиндикация, водные макробеспозвоночные, ДНК-баркодирование, биотические индексы, экологический мониторинг.*

Tuynazarova Iroda Abdubakievna, Ph.D., Candidate of Biological Sciences.

senior lecturer of the Department of Ecology and Occupational Safety

Jizzakh Polytechnic Institute

Republic of Uzbekistan, Jizzakh city

ADVANCING FRESHWATER BIOINDICATION USING INSECT LARVAL COMMUNITIES AND MOLECULAR TOOLS

***Abstract:** The review examines the principles of bioindication in aquatic ecosystems using insect larvae communities (EPT, Chironomidae). It is shown that combining classic biotic indices with DNA barcoding methods enhances the accuracy of anthropogenic impact assessment. The importance of accounting*

for regional specificity for the correct interpretation of bioindication data is emphasized.

Keywords: *bioindication, aquatic macroinvertebrates, DNA barcoding, biotic indices, environmental monitoring.*

Введение: Биоиндикация с использованием личинок насекомых, таких как представители отрядов EPT и Chironomidae, служит высокочувствительным методом оценки состояния водных экосистем, поскольку их сообщества чётко реагируют на изменения физико-химических параметров воды, включая содержание кислорода, pH и питательных веществ. Интеграция молекулярных методов, например ДНК-баркодирования, с классическими биологическими индексами (FBI, BMWP) значительно повышает точность мониторинга, позволяя выявлять антропогенное воздействие на уровне видовых распределений. Это обеспечивает комплексный биологически значимый подход, критически важный для устойчивого управления пресноводными ресурсами и превосходящий по своей информативности исключительно химические анализы [7; 8].

Научные данные подтверждают, что группа EPT (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) служит надежным биоиндикатором чистых водоемов благодаря высокой чувствительности к органическому загрязнению и дефициту кислорода, тогда как массовое развитие хирономид (Chironomidae) прямо указывает на эвтрофикацию и загрязнение. Например, исследования в бассейне реки Чалакуди зафиксировали корреляцию высокого обилия таксонов EPT с хорошим качеством воды, а преобладание хирономид — с деградированными участками. Эти взаимодополняющие индикаторы, где богатство EPT отражает благополучие экосистемы, а численность хирономид — степень её нарушения, легли в основу современных протоколов биомониторинга пресноводных систем [1; 2].

Личинки стрекоз и вислокрылок выступают эффективными биоиндикаторами, поскольку их трофическое положение и структура сообществ чутко реагируют на качество воды, доступность кормовых ресурсов и уровень загрязнений. Физиологические адаптации, такие как хватательная маска у личинок стрекоз, обеспечивают им роль высокоэффективных хищников, чей рацион и накопление веществ, например, метилртути, напрямую отражают изменения в экосистеме. Анализ стабильных изотопов и видового состава этих организмов позволяет достоверно оценить состояние донных сообществ и трофический статус водоёмов в условиях антропогенного воздействия. [6].

Современные биоиндикаторные индексы (BMWP, ASPT, EPT), основанные на распределении водных макробеспозвоночных, широко применяются в международных программах мониторинга для оценки качества воды. Эти индексы эффективно отражают антропогенное воздействие, интегрируя реакцию сообществ на различные стрессоры, что обеспечивает более целостную оценку состояния экосистем по сравнению с физико-химическими методами. Их региональная адаптация, например TR-BMWP для Турции, повышает точность оценки экологического здоровья пресноводных водоемов в разных географических условиях. [4].

Личинки насекомых, особенно в водных экосистемах, служат эффективными биоиндикаторами, интегрируя в своей видовой структуре и плотности популяций влияние как химических загрязнений, так и долгосрочных изменений, включая перестройку трофических сетей и сокращение биоразнообразия. Их чувствительность на разных стадиях развития позволяет отслеживать широкий спектр нарушений — от токсического воздействия до климатических стрессоров, косвенно сигнализируя, например, о сдвигах в фенологии растений-хозяев (Durney et al., 2025). Применение современных методов, таких как ДНК-баркодирование и автоматизированный мониторинг, существенно

повышает точность и детальность оценки состояния экосистем на основе сообществ личинок [3].

Биологические методы оценки воздействия загрязнителей, основанные на реакциях биоиндикаторов, дают интегрированную картину долгосрочного эффекта, в отличие от моментальных физико-химических измерений. Их точность принципиально зависит от корректной видовой идентификации, где методы ДНК-баркодинга и нейронные сети, например ResNet-50, существенно повышают эффективность таксономической классификации. При этом интерпретация данных требует обязательного учёта региональных природно-климатических факторов, поскольку они формируют видовой состав и толерантность сообществ, что исключает универсальные оценочные стандарты. [5].

Заключение: Сообщества личинок насекомых, такие как EPT и Chironomidae, служат высокочувствительными биоиндикаторами, чья структура и обилие точно отражают уровень антропогенного воздействия на водные экосистемы. Интеграция молекулярных методов идентификации с классическими биотическими индексами значительно повышает разрешающую способность и надёжность биомониторинга. Для корректной интерпретации данных необходимо учитывать региональные экологические условия, что делает биоиндикацию комплексным и информативным инструментом для оценки экологического состояния водоёмов.

Список использованных источников:

1. Athulya, P., Prasad, P. V., Sivalingam, R., Sajeev, T. V., Kumar, C. S. R., & Syamkumar, R. N. P. (2024). Aquatic insects for monitoring the health status of riverine potholes: A case study in Chalakudy river basin, Kerala, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12254-x>

2. Baturina, M., Kononova, O., Fefilova, E., & Loskutova, O. (2021). The fauna of aquatic invertebrates in the river impacted by wastewaters from the pulp and paper industry (Komi Republic). *Biodiversity Data Journal*, 9(6). <https://doi.org/10.3897/bdj.9.e75362>
3. Chiavassa, J. A., Kraft, M., Noack, P., Walther, S., Kirse, A., & Scherber, C. (2024). The Field Automatic Insect Recognition-Device-A Non-Lethal Semi-Automatic Malaise Trap for Insect Biodiversity Monitoring: Proof of Concept. *Ecology and Evolution*, 14(12). <https://doi.org/10.1002/ece3.70642>
4. Etriieki, A. M. O., & Küçükbasmacı, İ. (2024). Using macroinvertebrate-based biotic indices and diversity indices to assess water quality: A case study on the Karasu Stream (Kastamonu, Türkiye). *Ecohydrology*, 17(2). <https://doi.org/10.1002/eco.2627>
5. Habib, S., Ahmad, M., Ul Haq, Y., Sana, R., Muneer, A., Waseem, M., Pathan, M. S., & Dev, S. (2024). Advancing Taxonomic Classification Through Deep Learning: A Robust Artificial Intelligence Framework for Species Identification Using Natural Images. *IEEE Access*, 12, 146718–146732. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3450016>
6. Mariani-Ríos, A., Maldonado-Benítez, N., & Ramírez, A. (2022). Natural history of Odonata assemblages in tropical streams in Puerto Rico. *Neotropical Biodiversity*, 8(1), 112–123. <https://doi.org/10.1080/23766808.2022.2043699>
7. Prommi, T. O. (2023). Water quality assessment in an irrigation pond based on adult caddisfly (Insecta: Trichoptera) assemblages. *Ecologica Montenegrina*, 62, 87–100. <https://doi.org/10.37828/em.2023.62.11>
8. Vitheepradit, A., Mitpuangchon, N., & Prommi, T.-O. (2024). Aquatic insect biodiversity, water quality variables, and microplastics in the living weir freshwater ecosystem. *Ecologica Montenegrina*, 79, 41–63. <https://doi.org/10.37828/em.2024.79.5>