

## Исследование стратегии выживания рыб в загрязненном водоеме

Ученые лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии ГЕОХИ РАН совместно с российскими коллегами исследовали биологические отклики рыб на снижение токсичной нагрузки на оз. Имандра, в прошлом интенсивно загрязняемый водоем тяжелыми металлами. Они пришли к выводу, что эффективность газообмена и эндо- и фагоцитоза (процессов захвата и поглощения таких объектов как бактерии, вирусы, остатки мёртвых клеток и т.п.) были решающими факторами, которые позволили рыбам выжить и выдерживать воздействия высоких концентраций металлов в прошлом. Результаты опубликованы в журнале *Ecotoxicology and Environmental Safety*<sup>1</sup>

Были исследованы гематологические параметры, а также морфометрические параметры и гистопатологию органов сига (*Coregonus lavaretus* L.) (Рис. 1), который может использоваться как хороший локальный биоиндикатор водной среды.

Жабры рыб являются регулятором компромисса, например небольшое число слоев вставочного эпителия и небольшое расстояние способствуют абсорбции O<sub>2</sub>; механизмы регулирования включают обратимое ремоделирование структуры. Защитные реакции сигов из незагрязненной части озера связаны с разрастанием ткани жабр, обеспечивая структурную поддержку, но ухудшая газообмен. Адаптивная стратегия сигов из загрязненной части озера направлена на увеличение газообмена путем снижения защитной пролиферации структуры жабр.

Второй путь улучшения газообмена – увеличение гемоглобина в созревающих эритроцитах. Ученые считают, что спад токсичности выявил активацию адаптационных механизмов, которые были направлены на повышение эффективности кроветворения путем увеличения количества гемоглобина в созревающих эритроцитах.

Аутофагия как процесс деградации внутренних компонентов клетки – важный эволюционный механизм для поддержания гомеостаза и достижения клеточного обновления, важный механизм адаптации к внутренней и внешней среде. Если увеличение мелано-макрофагальных центров в почке рыб наблюдалось у сигов из незагрязненной части озера, то наоборот снижение мелано-макрофагальных центров было у сигов из загрязненной части озера (Рис. 2). Увеличение мелано-макрофагальных центров, полагают ученые, является следствием того, что фагоциты не справляются с утилизацией экзогенных и эндогенных веществ.

По словам автора научной работы, ведущего научного сотрудника лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии ГЕОХИ РАН Натальи Гашкиной, то, что биологические реакции сига из исторически загрязненной части озера сильно изменились в отличие от таковых у сигов из никогда не загрязняемой части озера, и их сдвиги сохранялись даже по прошествии около 20 лет спада токсичной нагрузки, указывают на эволюцию их развития и проливают свет на механизмы адаптации к токсичному загрязнению.

---

<sup>1</sup> N.A. Gashkina, T.I. Moiseenko, L.A. Shuman, I.M. Koroleva (2022) Biological responses of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to reduced toxic impact: Metal accumulation, haematological, immunological, and histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **239**, 113659, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113659>

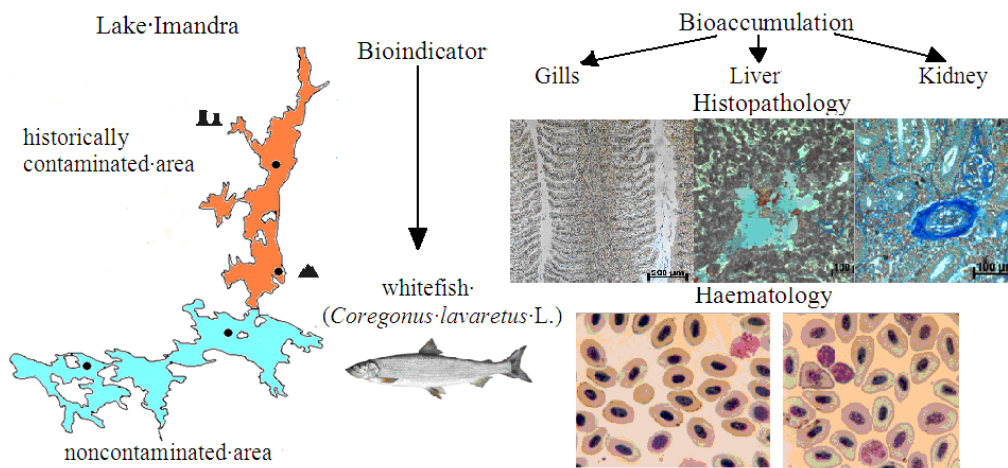


Рис. 1. Схема-иллюстрация дизайна исследования.

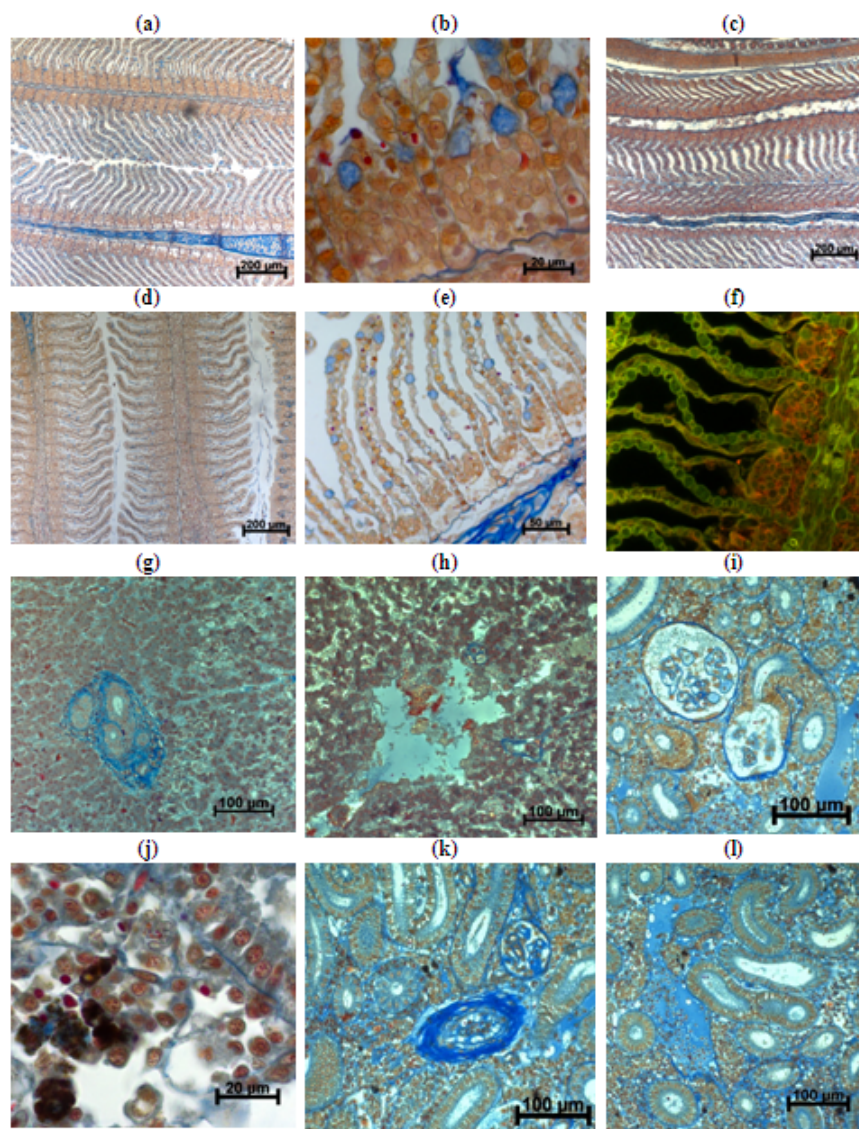


Рис. 2. Патологические изменения в жабрах: (а) – нормальное состояние, (б) – слизистые клетки вставочного эпителия, (в) – утолщение и слияние ламелл, (г) – цитолиз клеток и утолщение респираторного эпителия, (д) – десквамация эпителия ламелл, (е) – десквамация эпителия ламелл, конфокальное изображение; гистопатологические изменения печени сига: (ж) – фиброз, (з) – некроз, а также гистопатология почек: (и) – некроз Мальпигиева тельца и почечного канальца, (к) – меланомакрофагальный центры, (л) – фиброз, (л) – кровоизлияние.