

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА РЫБЫ ПО СТРУКТУРЕ ОТОЛИТОВ



Я. В. Козлов, студент, гр. 23 ВТ/м
e-mail: zeferkaman@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Д. М. Литвищенко, студент, гр. 23 ВТ/м
e-mail: litvishhenko2002@mail.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



А. С. Бурбах, канд. биол. наук
e-mail: anna.burbakh@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

А. А. Шарков, студент, гр. 21-ВА/б
e-mail: sharkov@atlant.vniro.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В данной статье рассматривается применение нейронных сетей для автоматизации процесса определения возраста рыбы на основе структуры отоликов. Традиционные методы анализа отоликов требуют значительных временных и трудовых затрат со стороны специалистов. Предлагаемый подход использует современные технологии обработки изображений и машинного обучения для разработки программного обеспечения, способного точно и оперативно определять возраст рыбы. Статья акцентирует внимание на практической значимости автоматизации данного процесса для устойчивого управления рыбными ресурсами и проведения экологических исследований, поскольку отолиметрия является одним из наиболее популярных методов оценки возрастной структуры рыбных популяций. В заключении обсуждаются перспективы дальнейшего развития исследуемой темы, включая возможность расширения функционала для определения других характеристик рыб и проведения ретроспективных расчетов роста на основании радиуса отоликов и длины рыбы. В качестве тестового объекта применялись отолики корюшки европейской (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.). Материалом для работы послужили отолики, собранные в период научно-исследовательских работ сотрудниками и студентами кафедры водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ.

Ключевые слова: отолики, нейронные сети, подсчет колец, сельское хозяйство, ихтиология, программное обеспечение, автоматизация, корюшка европейская.

ВВЕДЕНИЕ

Данные о возрасте рыб лежат в основе построения размерно-возрастных ключей, определения возрастной структуры популяций гидробионтов, т. е. параметров, необходимых

для прогнозирования и мониторинга состояния популяций гидробионтов. В настоящее время широкое распространение получил метод определения возраста рыб, основанный на подсчете годовых слоев роста, формирующихся в минерализованных структурах организма (чешуе, костях, отолитах), часто называемых регистрирующими структурами. Они названы так по двум причинам: во-первых, составляющие их вещества не заменяются в течение всей жизни, во-вторых, эти вещества откладываются неравномерно и создают разную оптическую плотность, которую тем или иным способом можно зарегистрировать [1].

Задача на создание программного обеспечения (далее – ПО) поступила от кафедры водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ ввиду его значимости и перспективности развития этого направления в рыбохозяйственной науке. Задача заключается в упрощении работы ихтиологов в массовой обработке возрастных структур промысловых рыб и автоматизации данного процесса. Предстояло выбрать путь развития продукта, программные решения для его реализации, а также сформировать удобную для работы базу данных фотографий отолитов, прошедших отбраковку.

Научная новизна работы заключается в отсутствии в стране подобного рабочего лицензионного программного обеспечения, позволяющего автоматически определять возраст рыб по подсчету гиалиновых и опаковых зон отолитов.

Первая задача заключалась в создании базы данных фотографий отолитов, сопоставимой с имеющейся базой данных массовых промеров корюшки за 2020–2024 гг.

Вторая задача состояла в разработке ПО, позволяющего подсчитывать чередующиеся зоны роста на отолите. Его цель – упрощение анализа отолитов, но итоговое решение по каждой промеряемой особи остается за пользователем. Таким образом, ПО помогает в составлении датасета (DataSet) из фотографий отолитов с верно определенным возрастом.

Третья задача – создание нейросети для автоматизации определения возраста рыбы по структуре отолитов, обучаемой по полученному датасету. Задача нейросети – определение возраста рыбы по фотографии рыбьего отолита (сделанной при помощи камеры микроскопа) с минимальной вероятностью ошибок, а также обработка одновременно от 50 изображений и выше. Результатом работы нейросети представляется оптимизация исследовательских процессов ихтиологов, со значительным ускорением и улучшением процесса определения возраста рыб, сниженной трудоемкостью и повышенной точностью анализа [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс работы ПО можно разбить на три этапа.

1. Обработка изображений

Обработка изображений заключается в предварительной подготовке входных данных для нейронной сети, чтобы обеспечить оптимальное качество и точность вычислений. Этот процесс включает в себя несколько важных этапов.

В первую очередь загружается черно-белое изображение отолита, сделанное при помощи камеры микроскопа. Считывание изображений и их обработка помогают устранить шумы и лишние детали, которые могут негативно сказаться на работе нейронной сети. Обрезка изображений с последующим уменьшением разрешения также способствует оптимизации скорости обработки.

Далее применяется адаптивная бинаризация (адаптивное определение порога по Гауссу) с использованием функции `cv2.adaptiveThreshold` для создания бинарного изображения, где черные области представляют собой интересующие структуры. Использование маски на изображении позволяет выделить необходимые рабочие области, в данном случае – отолиты рыбы [3]. Этот шаг помогает сократить объем данных, с которыми будет работать нейронная сеть, что важно для эффективной работы модели.

Следующий этап включает разбиение обработанного изображения на блоки определенного размера с целью упрощения задачи и улучшения производительности алгоритма обработки. Разбиение на блоки позволяет эффективно анализировать каждый отдельный фрагмент изображения [4].

2. Распознавание центра отолита

Определение центра каждого отолита на изображении играет ключевую роль в последующем анализе годовых колец. Точное определение центра обеспечивает корректное распознавание структуры отолита и точность определения его возраста [5].

После нахождения контуров на обработанном изображении с использованием `cv2.findContours`, определяются моменты контура, соответствующие отолиту с помощью `cv2.moments`. Далее вычисляется центр масс.

3. Распределение точек и построение эллипсов

На отолите размечается несколько точек, представляющих кольца. Используется метод наименьших квадратов для подгонки эллипсов к этим точкам. Оцениваются параметры эллипсов, такие как полуоси, угол наклона и центр [6].

В результате визуализируется исходное и предобработанное изображения с использованием библиотеки `Matplotlib` (рисунок 1). Интерфейс ПО представлен на рисунке 2.

В основе распознавания изображения программой лежит свёрточная нейронная сеть. Она состоит из нескольких слоев, включая свёрточные слои, пулинг-слои и полносвязные слои. Свёрточные слои используются для извлечения признаков из изображений отолитов, позволяя модели обнаруживать различные структурные особенности [7]. Пулинг-слои уменьшают размерность данных, сохраняя важные признаки. Полносвязные слои объединяют извлеченные признаки и генерируют выходные данные, предсказывая возраст рыбы. Имеется возможность научить нейросеть определять вид рыбы по отолитам и выполнять другие функции, которые нужны будут ихтиологам, например для изучения зависимостей между линейными размерами отолитов и другими параметрами рыбы [8].

Данные включают:

1. Фотографии отолитов, сделанные на специальный микроскоп.

Для обучения нейросети требуется около 2 000 фотографий (с уже определенным ихтиологами возрастом).

Данные о фотографии:

Размер: 1 100–1 300 Кб

Разрешение: 5 120x3 840

Цветность: черно-белый (по настройкам микроскопа)

Глубина цвета: 24

2. Данные из БД ихтиологов.

Дата получения отолита, вид рыбы, номер чешуйной книжки, размеры, водоем и остальные необходимые им сведения о рыбе.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Исследование представляет значительные преимущества в сравнении с традиционными методами ручного анализа отолитов. В первую очередь такой подход обеспечивает существенное сокращение как временных, так и трудовых затрат для ихтиологов. Путем использования специализированного программного обеспечения результаты анализа получаются значительно быстрее, чем при ручном подходе. Кроме того, вероятность возникновения ошибок в процессе анализа сведена к минимуму благодаря применению автоматизированных методов обработки данных.

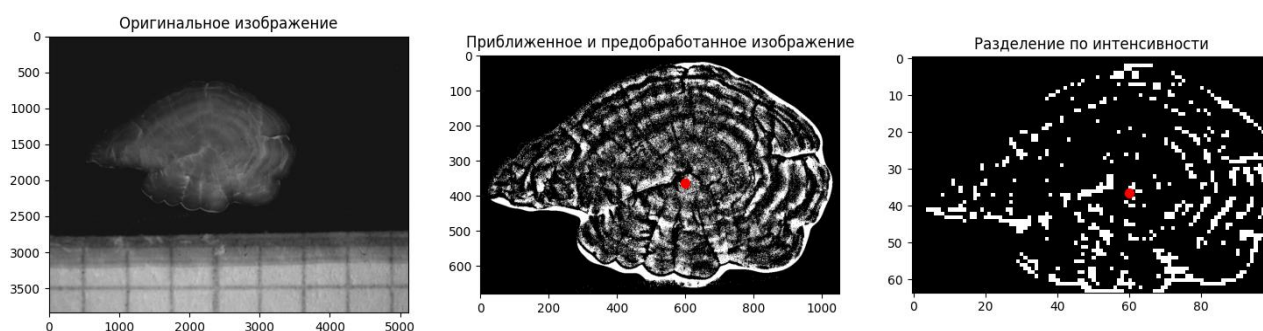


Рисунок 1 – Результирующие изображения

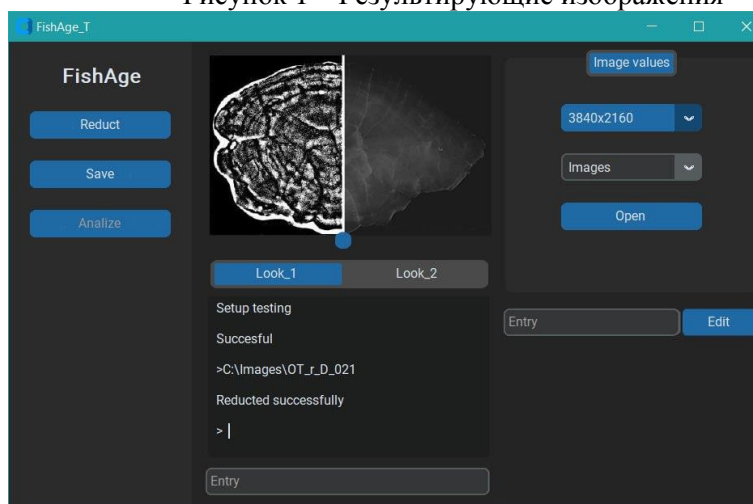


Рисунок 2 – Интерфейс ПО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дополнение к основной задаче определения возраста рыбы наша разработка также сможет предоставить в будущем возможность для оценки размеров тела особей в различные возрастные периоды с помощью измерения радиусов годовых колец отолитов на основе соотношения их с данными из имеющейся базы данных массовых промеров [9].

Кроме того, отолиты, хотя и имеют схожую структуру в пределах одного вида, все же обладают видоспецифичными особенностями. Их форма и строение могут служить важными индикаторами при палеонтологических исследованиях, а также при изучении питания хищных рыб [10]. Автоматизация процессов анализа отолитов позволит не только определять размеры тела особей в разных возрастах, но и глубже исследовать экологические взаимосвязи в морских и пресноводных экосистемах, используя отолиты в качестве важного инструмента анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Campana, S. E. Stock discrimination using otolith shape analysis / S. E. Campana, J. M. Casselman // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1993. – Vol. 50, Iss. 5. – P. 1062–1083.
2. Бахтеев, О. Ю. Выбор моделей глубокого обучения субоптимальной сложности / О. Ю. Бахтеев, В. В. Стрижов // *Автоматика и телемеханика.* – 2018. – Вып. 8. – С. 129–147.
3. Пучков, А. Ю. Алгоритм настройки гиперпараметров свёрточной нейронной сети в задаче классификации объектов / А. Ю. Пучков, М. И. Дли // *Математические методы в технике и технологиях-ММТТ.* – 2018. – Т. 4. – С. 47–50.
4. Automatic recognition of fish behavior with a fusion of RGB and optical flow data based on deep learning / W. Guangxu, M. Akhter, L. Chang [et al.] // *Animals.* – 2021. – № 11. – P. 2774.
5. Михеев, П. Б. Применение анализа микроэлементного состава кальцинированных структур рыб для решения фундаментальных и прикладных научных задач / П. Б. Михеев, Т. А. Шеина // *Известия ТИНРО.* – 2020. – Т. 200. – Вып. 3. – 688–729.
6. Бурбах, А. С. Рост корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реках бассейна Куршского залива Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шibaев // *Балтийский морской форум: Материалы VII Международного Балтийского морского форума (Калининград, 7–12 октября 2019 г.). В 6 т. – Т. 3. – Калининград: БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 101–107. – EDN WSEGGN.*
7. Киселева, Т. В. Машинное обучение в задачах распознавания изображений / Т. В. Киселева, Е. В. Маслова, А. Г. Бычков // *Информатизация и связь.* – 2021. – № 8.

8. Zymonas, N. D. Comparison of pelvic fin rays, scales and otoliths for estimating age and growth of bull trout, *Salvelinus confluentus* / N. D. Zymonas, T. E. McMahon // *Fish. Manag. Ecol.* – 2009. – Vol. 16, Iss. 2. – P. 155–164.

9. Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems / D. Bradley, M. Merrifield, K. M. Miller [et al.] // *Fish and Fisheries.* – 2019. – № 20. – 564–583.

10. Using trace elements in pectoral fin rays to assess life history movements in sturgeon: Estimating age at initial seawater entry in Klamath River green sturgeon / P. J. Allen, J. A. Hobbs, J. J. Cech [et al.] // *Transact. Amer. Fish. Soc.* – 2009. – Vol. 138, Iss. 2. – P. 240–250.

THE USE OF NEURAL NETWORKS TO AUTOMATE THE DETERMINATION OF FISH BEHAVIOR BASED ON THE STRUCTURE OF OTOLITHS

Y. V. Kozlov, student
e-mail: zeferkaman@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

D. M. Litvishchenko, student
e-mail: litvishhenko2002@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

A. S. Burbach, PhD in Biology,
e-mail: anna.burbakh@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

A. A. Sharkov, student
e-mail: sharkov@atlant.vniro.ru
Kaliningrad State Technical University

This article explores the application of neural networks for automating the process of determining fish age based on otolith structure. Traditional otolith analysis methods require significant time and labor from ichthyologists. Our approach utilizes advanced image processing and machine learning technologies to develop software capable of accurately and rapidly determining fish age. The article highlights the practical significance of automating this process for sustainable fish resource management and ecological research, as otolithometry is one of the most popular methods for assessing the age structure of fish populations. In conclusion, the prospects for further project development are discussed, including the potential to expand functionality for determining other fish characteristics and conducting back-calculations of growth based on otolith radius and fish length. European smelt (*Osmerus eperlanus*) was used as the test subject. The study was conducted using databases of mass measurements and the biology of smelt, compiled by the staff of the Institute of Fisheries and Aquaculture, KSTU.

Keywords: *Otoliths, neural networks, ring counting, agriculture, ichthyology, software, automation, smelt, Osmerus eperlanus.*