



# «80 ЛЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКЕ НА УРАЛЕ»

**МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 80-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА  
ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УРО РАН**

Екатеринбург  
11–15 ноября 2024 г.



**ИЭРиЖ**  
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ  
РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

**80 лет**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**«80 ЛЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКЕ НА УРАЛЕ»**

**Материалы всероссийской научной конференции с международным  
участием, посвященной 80-летию Института экологии растений и  
животных УрО РАН, г. Екатеринбург, 11–15 ноября 2024 г.**

Екатеринбург  
Рекламное агентство Reaction  
2024

УДК 574(061.3)

В76

Редакционная коллегия:  
ответственный редактор – доктор биологических наук Головатин М.Г.  
кандидат биологических наук Гордилова Ю.В.  
кандидат биологических наук Созонтов А.Н.  
доктор биологических наук, профессор РАН Веселкин Д.В.

**80 лет экологической науке на Урале:** материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, 11–15 ноября 2024 г. / редкол.: М.Г. Головатин (отв. ред.) [и др.]; ИЭРиЖ УрО РАН. – Екатеринбург: Реэкшен, 2024. – 288 с.

В сборнике опубликованы материалы докладов, которые были представлены на всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию Института экологии растений и животных УрО РАН. Материалы характеризуют результаты современных, часто многолетних исследований, выполненных в традиционных, но не теряющих актуальности направлениях: изучение и сохранение биологического разнообразия; популяционная и эволюционная экология; изучение внутриэкосистемных процессов, экология сообществ.

Материалы могут быть полезны специалистам, работающим по тематикам фундаментальных и прикладных экологических вопросов, специалистам в области охраны природы и работникам природоохранных организаций, преподавателям высшей школы и студентам, обучающимся по экологическим, биологическим, географическим направлениям.

Издание осуществлено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

*Все материалы публикуются в авторской редакции*

ISBN 978-5-9078874-9-7

© АВТОРЫ, 2024

© ИЭРиЖ УРО РАН, 2024

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО ОТПЕЧАТКАМ ЛАП –  
НОВЫЙ ПОДХОД К НЕИНВАЗИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВИДОВОГО  
РАЗНООБРАЗИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ  
NEURAL NETWORK IDENTIFICATION FROM FOOTPRINTS: A NEW  
APPROACH TO NON-INVASIVE ASSESSMENT OF SMALL MAMMAL  
DIVERSITY**

Малкова Е.А., Толкачёв О.В., Маклаков К.В.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

[bav\\_81@mail.ru](mailto:bav_81@mail.ru)

*Ключевые слова: мелкие млекопитающие, видовое разнообразие, нейросеть, отпечатки лап*

Определение близких видов животных с похожей морфологией конечностей по следам – идея не новая. Но до настоящего времени в мировой практике не было попыток создать полноценный классификатор следов мышеобразных грызунов с использованием нейросетевого подхода. Отчасти это связано с методическими трудностями по подготовке набора данных для обучения моделей, а также с доминирующим морфометрическим подходом в научной среде для решения подобных задач.

Классический морфометрический подход для разделения видов на основе изображений следов был использован на примере 8 видов гекконов в Новой Зеландии (Jarvie S & Monks, 2014) и мелких млекопитающих из фауны Бразилии (Palma & Gurgel-Gonçalves, 2007). В первом случае, авторы использовали линейные промеры длины и ширины четвертого пальца ящерицы, передней и задней ступни, а также соотношение длины четвертого пальца к ширине четвертого пальца и площади всего отпечатка лапы. Во втором, также использовали линейные промеры расстояний между отпечатками подушечек передних и задних лап. Дальнейшая классификация видов проводилась с помощью дискриминантного анализа. Кроме видовой классификации известны примеры, когда задачей ученых было на основе отпечатков лап различить отдельных особей внутри одного вида (Ellison and Swanson, 2016). Для этого авторы использовали комплексный подход сравнения отпечатков лап енотов из штата Мичиган (США), который также включал линейные промеры расстояний между сосочками на внутренней стороне ладоней и ступней. В каждом из этих примеров исследователи самостоятельно определяли признаки, доступные для измерения и дальнейшей классификации – основная отличительная черта морфометрии. Этот подход не доступен для широкого применения, так как требует высокой квалификации исследователя. Кроме того, всегда существует проблема неоднозначности в определении классификационных признаков для разных видов. Цель нашего исследования – разработать классификатор для определения видов мелких млекопитающих по следу любой лапы животного.

Для достижения поставленной цели мы использовали Transfer-learning на основе архитектур из семейства Resnet. Суть предлагаемого подхода заключается в дообучении каждого слоя в выбранной архитектуре, с заменой только последних слоев под нужное количество классов. Нашим коллективом был подготовлен специальный набор данных четно-белых сканов картриджей, сохраненных в формате TIFF. Он уникален, поскольку содержит оригинальные размеченные под каждую лапу изображения следов четырех диких видов мелких млекопитающих: *Apodemus agrarius*, *Sylvaemus uralensis*, *Clethrionomys glareolus*, *Microtus arvalis*. Изучаемые виды широко распространенных на территории РФ и в других странах Евразии. Папки в датасете названы латинскими названиями родов ММ: *Sylvaemus*, *Apodemus*, *Clethrionomys*, *Microtus*. В одной папке содержатся изображения отдельных следов каждой из 4-рех лап от животного в 10-ти повторностях. На данный момент один вид представлен 4-мя особями. Таким образом, каждая папка содержит 160 изображений. Общее количество оригинальных отпечатков лап составляет 640. Все изображения следов получены в лабораторных условиях с использованием устройства, обеспечивающего возможность имитации естественного прохода животного по следовому картриджу. Подобный подход к созданию набора данных исключает проблему дисбаланса классов на этапе обучения модели. Объем датасета позволяет проводить эксперименты, как с «легкими», так и достаточно «тяжелыми» предобученными моделями из библиотеки pytorch с использованием интерактивной облачной среды и бесплатных графических процессоров. Для оценки качества модели использовали стандартные метрики: Average Accuracy, Precision, Recall. Для визуализации разделения векторных представлений, извлеченных из последнего классификационного слоя для каждого класса, был использован метод главных компонент (PCA). Интерпретацию работы обученной модели и создание тепловых карт признаков для изучаемых видов на основе входных изображений проводили с помощью Gradient Class Activation Mapping.

На основе предобученной модели ResNet18 получено базовое решение для классификации четырех видов с точностью около 98 % (Average Accuracy = 0.985). Матрица ошибок модели не содержит ни одной ошибки на тестовой выборке.

Данное исследование демонстрирует потенциал нейросетевого подхода для неинвазивной оценки видового состава мелких млекопитающих, что представляет интерес для мониторинга биоразнообразия и управления популяциями.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН (122021000082-0, 122021000085-1).

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

«80 ЛЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКЕ НА УРАЛЕ»

материалы всероссийской научной конференции с международным участием,  
посвященной 80-летию Института экологии растений и животных УрО РАН,  
г. Екатеринбург, 11–15 ноября 2024 г.

Редакторы:  
Головатин М.Г.  
Городилова Ю.В.  
Созонтов А.Н.  
Веселкин Д.В.

Вёрстка и обложка:  
Reaction

Подписано в печать 25.12.2024.  
Формат бумаги 60×84 1/16.  
Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 16,74. Заказ 19498.  
Тираж 300 экз.

Отпечатано в Рекламном агентстве Reaction  
г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 77 литер X, офис 205.

**80**лет