Таким образом, социально-экономические факторы трансформации экосистем Хоперского государственного природного заповедника заключаются в изменении основных задач государства: первые антропогенные изменения связаны с развитием кораблестроения (с целью военных походов в южных регионах), лесного и сельского хозяйства для нужд экономики страны, что определило изменение территории почти на 300 лет; затем добавляется промысел на животных – это приводит к уменьшению площади лесов, лесистости территории, снижению численности видов; в XX в. ресурсы р. Хопер подвергаются значительному использованию в результате использования промышленностью и сельским хозяйством – это приводит к снижению численности видов, качественного состояния экосистемы; проводятся научные мероприятия по заселению и восстановлению численности нескольких видов животных – это приводит к вытаптыванию копытными ряда участков лугов, появляются вторичные луговые формации, увеличивается доля кустарников и ольховых лесов. Развитие судостроения, машиностроения, строительства, лесного, зернового хозяйства и животноводства вызвано необходимостью экономического развития региона из-за растущей численности населения, обеспечением его рабочими местами, продовольствием, инфраструктурой. Социальная нестабильность 1990-х г. стала причиной, вынудившей население нарушать правила заповедника. В итоге, трансформации экосистемы Хоперского заповедника вызваны социально-экономическими нуждами развития государственного и регионального уровней, что привело к изменению видового состава, количественно и качественно; некоторым компонентам для нормального состояния необходима постоянная поддержка.

Литература

1. Прошлое, настоящее и будущее охраняемых территорий: сборник научных материалов, посвященный 80-летию Хоперского государственного природного заповедника / под ред. Н.А. Карпова. – Воронеж: ФГБУ «Хоперский государственный природный заповедник», 2015. – 206 с.
2. Рыбалова, М.М. История становления заповедного дела в Хоперском государственном природном заповеднике / М.М. Рыбалова, Л.А. Межова // Журналистика и география: Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 22–23 марта 2024 года. – Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2024. – С. 177–182.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПАССИВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЛОРУССКОЙ АВИФАУНЫ «ГУКИ NET» ДОСТИГАЕТ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПТИЦ

Л.О. Дашевская

**Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск,
Республика Беларусь, lidiyadashevskaya@gmail.com**

Современное применение искусственного интеллекта направлено на повышение эффективности работы специалистов с помощью инструментов машинного обучения. Пассивный акустический мониторинг (ПАМ) стал популярным методом для изучения видового разнообразия и распространения фауны, что стало возможным благодаря доступности новых технологий и автономных цифровых акустических записывающих устройств. Эти устройства позволяют массово фиксировать вокализации животных в дикой природе. Однако увеличение объема акустических данных вызывает необходимость в автоматизированной интерпретации звукозаписей для определения видов по их вокализациям. Системы

на основе автономных записывающих устройств способны обеспечить специалистов сотнями часов акустических данных, но их обработка требует значительных усилий и специфических навыков. Перспективным решением для автоматизации этого процесса является использование программного обеспечения на основе машинного обучения. Зарубежный опыт показывает, что такие инструменты эффективно сокращают время и усилия, необходимые для ручной обработки больших объемов данных [1]. «Гукі NET» представляет собой программное решение на основе нейросетевой модели, совместно разработанное Объединённым Институтом Проблем Информатики НАН Беларуси и ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», предназначенное для определения вида животных по их голосам в акустических записях. Модель обучается на аннотированных данных вокализаций и применяет алгоритмы для анализа новых записей, выдавая вероятностную оценку видовой принадлежности присутствующих на записи животных. В настоящей публикации мы сообщаем о достижении высоких результатов точности определения видов последними версиями системы «Гукі NET».

Материал и методы. Модель «Гукі NET» представляет собой адаптацию сверточной нейросети EfficientNetB3 [2] для акустических данных животного происхождения. Она включает базу акустических записей для обучения, автоматизированный пайплайн предобработки и конвертации в мел-спектрограммы, а также модуль анализа данных. Несмотря на использование других сверточных нейросетей, таких как ResNet и Inception, была выбрана EfficientNetB3 из-за компактности и высокой производительности. В модель были добавлены слои *Flatten*, *Dropout* и *Dense*, а также активатор *sigmoid* и функция потерь бинарной перекрестной энтропии. Ввиду особенностей процесса определения видов задача была задана как *multilabel classification* (одно окно – несколько предсказаний). Также использовался оптимизатор Adam.

Задачей текущей модели является достоверная идентификация 116 видов птиц, обитающих в лесах Беларуси. Вокализации для обучения и тестирования были собраны сотрудниками ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», а также получены из открытых источников. Каждая аудиозапись была аннотирована специалистом, что позволило получить около 41 000 аннотированных вокализаций с общей продолжительностью 29,6 часов на основании более чем 2300 записей. Набор данных включает записи различного качества и с разным количеством совместно вокализирующих видов. Для дополнения информации о посторонних шумовых сигналах использовалась база данных FSD50k [3]. 20% вокализаций были исключены из массива для обучения, так как предназначаются для тестирования модели.

Записи в обучающем наборе данных были разбиты на двухсекундные окна на основе аннотаций с временными метками. Длинные аннотации (более 1 секунды) создавали последовательные окна с шагом 1.75 секунды. Короткие аннотации (менее 1 секунды) объединялись в длинные, если пауза между ними была меньше 0.5 секунды, и разбивались по аналогичному алгоритму. Каждому окну присваивалась метка основного вида и список фоновых видов, помеченных как «unknown», если они не входили в основной список из 116 видов.

Для каждого окна строилась мел-спектрограмма. Использование мел-шкалы является стандартной практикой, так как она сохраняет ключевые характеристики звука, позволяя нейронной сети выявлять уникальные особенности голосов птиц. Перед построением спектрограммы частота дискретизации изменялась на 22050 Гц, а сигнал подвергался нормализации и компрессии по μ -закону, что улучшало качество. Спектрограммы создавались с параметрами $sr=22050$, $n_fft=512$, $hop_length=128$ и $n_mels=128$.

Обученная модель тестировалась на фрагменте базы данных, с определением показателей *precision*, *recall* и *f-1 score*.

Результаты и их обсуждение. В ходе тестирования обученная модель продемонстрировала средние показатели *precision* 0.88, *recall* 0.78 и *f-1 score* 0.82 для 116 задействованных видов. При этом наибольшая значимость уделяется показателю *precision* ввиду особенностей процесса пассивного акустического мониторинга. Достоверность истинно-положительных результатов куда более значительна для длительного ПАМ, нежели минимизация ложноотрицательных результатов.

Данный результат подтверждает эффективность средств на основе нейросетевых моделей для определения видов птиц в полевых условиях, и указывает на высокие перспективные возможности системы «Гукі NET» для природного мониторинга авифауны Беларуси. В перспективах дальнейшего развития системы «Гукі NET» – повышение точности видового определения системой за счёт совершенствования алгоритма предобработки данных и расширения базы данных для обучения модели, адаптация модели для видового определения рукокрылых и млекопитающих, а также разработка инфраструктуры для пассивного акустического мониторинга.

Литература

1. Priyadarshani, N. Automated birdsong recognition in complex acoustic environments: a review / N. Priyadarshani, S. Marsland, I. Castro // *Journal of Avian Biology*. – 2018. – Vol. 49, № 5. – P. jav-01447.
2. Tan, M. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks / M. Tan, Q.V. Le. – 2019.
3. FSD50K: An Open Dataset of Human-Labeled Sound Events / E. Fonseca [et al.] // *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. – 2022. – Vol. 30 – P. 829-852.

ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА МОШЕК (DIPTERA: SIMULIIDAE) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ Р. СВИСЛОЧЬ (БАС. ДНЕПРА)

Д.В. Довнар¹, Д.С. Сусло¹, Г.А. Млынарчик²

¹ Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск,

² Минский городской центр гигиены и эпидемиологии, г. Минск, Республика Беларусь, *dovnar.rm@gmail.com*

В водотоках Беларуси мошки составляют значительную часть зооперифитона. Они являются источником пищи для различных обитателей водных экосистем, принимают участие в процессах биологического самоочищения водотоков и в период массового вылета имаго участвуют в межэкосистемном переносе вещества и энергии. По мнению И.А. Рубцова [1] личинки мошек могут служить индикаторами загрязнения водных объектов. Однако, устойчивость разных видов мошек к уровню загрязнения неодинакова. Одни виды адаптируются к обитанию в загрязненной воде, в том числе в умеренно загрязненных городских ручьях и реках, другие виды более требовательны к качеству воды в водотоке.

По данным Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды [2] в республике одной из рек, подверженных наибольшей антропогенной нагрузке, считается р. Свислочь. Основным источником загрязнения реки является Минская очистная станция (МОС), на которой выполняется очистка производственных стоков десятков промышленных предприятий, хозяйственно-бытовых стоков Минска и прилегающих к нему населенных пунктов. Это оказывает негативное воздействие на жизнедеятельность водных обитателей реки, в том числе