



Фото 1. Чёрный стриж у гнезда в многоквартирном жилом доме, 14.07.2014 г., Москва. Фото: И.В. Кузиков



Фото 2. Самец домового воробья у того же гнезда, 23.02.2025 г. Фото: И.В. Кузиков

вое время года, так как идущее от человеческого жилья тепло согревает птиц даже в сильные морозы. Весной здесь появляются самцы и самки воробьёв, но к строительству гнезда они не приступают.

Вполне вероятно, что эти воробьи — часть стаи, зимующей на протяжении многих десятилетий приблизительно в 300 м от дома в кустах чубушника *Philadelphus* sp. Стая состоит из полевых (*Passer montanus*) и домовых воробьёв общей численностью 200–300 особей, которых подкармливают местные жители.

С первым появлением стрижей у гнезда в начале или середине мая воробьи в тот же день исчезают из поля зрения, и своеобразный «птичий круговорот» повторяется заново. Использование гнездовой ниши двумя видами птиц продолжается уже 16 лет. Воробьи используют щель между балконами как укрытие почти круглый год, за исключением летних месяцев, по-прежнему мало обращая внимания на жителей. Место гнездования наблюдаемой пары, к сожалению, не известно. Стрижи, возможно одни и те же, напротив — используют нишу только в период гнездования. Иногда они случайно залетают в окна балконов и лежат на полу до тех пор, пока хозяева квартир не выпустят их

Наталия Николаевна Чурикова, e-mail: chu-ri-kova@yandex.ru

на свободу. Пронзительными криками стрижи выражают свою «радость» и вновь стремительно летают перед окнами. Иногда возникает ощущение, что ты живёшь в большой стае стрижей, особенно после вылета молодых птиц, которых можно наблюдать на очень близком расстоянии.

Следует отметить, что за это время другой колонии чёрных стрижей поблизости так и не появилось. Возможные изменения в конструкции балкона или иные события со временем могут отразиться на дальнейшей судьбе гнезда и жизнедеятельности обоих видов птиц, что побуждает продолжать наблюдения.

Литература

- Барановский А.В. 2009. Отношения воробьёв *Passer domesticus* и *P. montanus* с другими дуплогнездниками при использовании гнездовых укрытий. — Рус. орнитол. журнал, 18 (461): 147–151.
- Зарудный Н.А. 1910. Птицы Псковской губернии. Записки Императорской Академии наук, том XXV, № 2. СПб, 181 с.
- Ильенко А.И. 1976. Экология домовых воробьёв и их эктопаразитов. М., 120 с.
- Люлеева Д.С. 2005. Отряд Стрижеобразные — Apodiformes. — Птицы России и сопредельных регионов: Сивообразные, Козодоеобразные, Стрижеобразные, Ракшеобразные, Удодообразные, Дятлообразные. М., с. 133–176.



Методы учётов птиц

Возможности использования автономных регистрирующих устройств для сбора данных о распространении птиц

Илья Уколов

Введение

Пассивный акустический мониторинг (ПАМ) и автоматическая идентификация с использованием искусственного интеллекта (ИИ) становятся всё более популярными методами неинвазивных исследований животного мира. ПАМ нашёл своё применение в области мониторинга фауны птиц (Kahl et al., 2021), выявления и изучения редких и скрытых видов (Bobay et al., 2018), исследований сезонных особенностей вокализации (Singer et al., 2024). Автоматизированный сбор и идентификация акустической информации значительно

увеличивают эффективность сбора данных, позволяют с наименьшими трудозатратами получить большой объём данных для анализа. Это означает, что ПАМ может служить надёжным способом получения дополнительной высокостандартизированной информации для покрытия пробелов, оставленных традиционными методами мониторинга (Funosas et al., 2024), обеспечивает беспрецедентный доступ к акустическим данным в пространстве и времени (Kahl et al., 2021).

В то же время современные средства автоматической идентификации птиц по акустическим данным, такие как BirdNET или Merlin, до сих пор обладают достаточно высокой степенью ложноположительных сра-

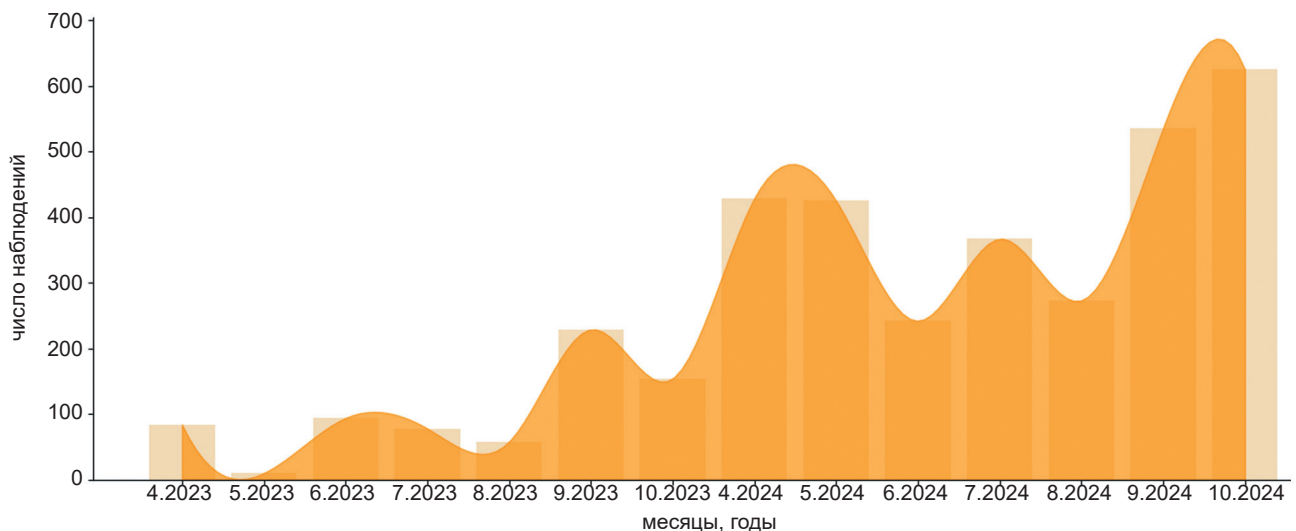


Рис. 1. Рост числа наблюдений при помощи ARU в 2023–2024 гг. в Московской обл. (по данным БД RU-BIRDS).

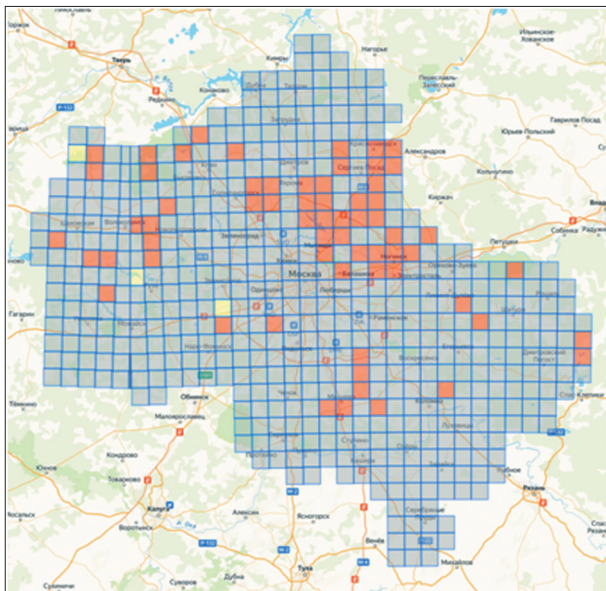


Рис. 2. Охват квадратов Атласа птиц Московской области устройствами ARU в 2023–2024 гг.

батываний, что надо учитывать при использовании этого метода. На частоту таких срабатываний влияет как степень качества обучения модели ИИ, так и внешние факторы, такие как антропогенные шумы, включение чужих репертуаров у птиц-пересмешников и др. (Kahl et al., 2021). Понимая такие ограничения на использование ПАМ, можно применять корректирующие алгоритмы, например, использовать ручную выборочную проверку, разрабатывать дополнительные схемы фильтрации данных, ограничивать применимость наиболее хорошо определяемыми видами птиц.

В этом исследовании мы показываем результаты двух лет использования автономных регистрирующих устройств (Acoustic recording units, ARU) для сбора данных о разнообразии фауны птиц на территории Московской обл. и даём рекомендации о применимости ПАМ и ARU при изучении птиц.

Методика

Сбор данных

Сбор данных осуществляли с помощью автоматических регистрирующих устройств (ARU) на базе одно-

платного компьютера Raspberry PI с установленным программным обеспечением Birdnet-PI (Уколов, 2023). ARU выполняло функции записи отрезков аудиоданных длительностью 15–30 сек с последующим автоматическим определением видового состава птиц с помощью системы искусственного интеллекта на базе модели данных Birdnet v2.4.

Сбор акустических данных осуществляли на территории Московской обл. в рамках проекта создания Атласа птиц Московской области. Для реализации проекта карту области разделили на 500 квадратов размером 10×10 км. По каждому из квадратов необходимо было собрать максимально полную информацию о фауне гнездящихся и зимующих птиц. В рамках проекта отдельными участниками было создано несколько устройств ARU, которые применяли на протяжении 2023 и 2024 гг. При этом в 2023 г. использовали только два устройства ARU, а в 2024 г. их число увеличилось до 5.

Большая часть устройств была разработана в мобильном варианте и применялась на различных квадратах Московской обл. Сбор данных осуществляли в режиме 24×7, заряда аккумулятора (пауэрбанк Romoss 40ah) в среднем хватало на двое суток.

Ограничения при сборе акустических данных были следующими. Период сбора данных: с марта по ноябрь. Пространственное размещение устройств ARU меняли в зависимости от приоритетов по работе над Атласом. Чаще всего устройства ставили на тех квадратах, которые относились к менее изученным или требовали дополнительного обследования по определённой группе видов.

Таким образом, сбор данных был нацелен на выявление разнообразия птиц отдельных квадратов области без необходимости оценки временных и пространственных параметров вокализации.

Обработка

Основной сложностью обработки данных вокализации птиц является точность идентификации видовой принадлежности. Подразумевается, что опытные орнитологи могут проводить идентификацию качественных записей с высокой степенью точности. По некоторым данным, такая точность может достигать 94% (Farmer et al., 2012). Для больших объёмов данных, где идентификация с привлечением орнитологов трудозатратна, рассматриваются различные варианты применения си-

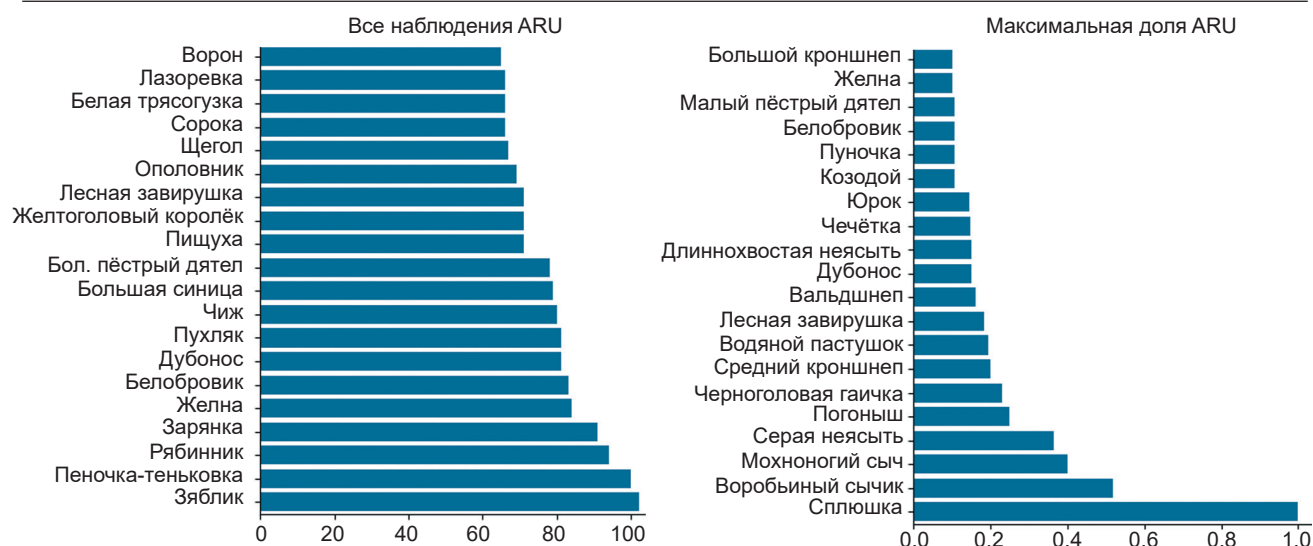


Рис. 3. Виды птиц с наибольшим числом наблюдений с ARU (слева). Виды с максимальной долей наблюдений по отношению к наблюдениям, сделанным людьми (справа).

стем на базе ИИ (Kahl et al., 2021; Funosas et al., 2024). Для обычных видов с высоким выставленным порогом достоверности, такой автоматизированный подход показывает удовлетворительные результаты.

Массив данных для этой работы был получен следующим образом. Предварительную обработку осуществляли на этапе сбора информации с применением средств автоматизированной идентификации (BirdNET-Analyzer v2.4). Предварительно обработанные записи проверяли участники программы создания Атласа с привлечением при необходимости опытных орнитологов. Полученные данные заносили в базу «Онлайн дневники наблюдений» RU-BIRDS.RU (Ukolov et al., 2021). Такой подход позволял минимизировать ложноположительные идентификации, присущие системам ИИ.

Анализ

В качестве исходной информации взята выгрузка из базы данных «Онлайн дневники наблюдений» (RU-BIRDS.RU) за 2023 и 2024 гг. Для сравнения наблюдений, выполненных автономными устройствами (ARU), с наблюдениями, выполненными людьми, были использованы следующие ограничения при выборке: использовали данные только по Московской обл. (г. Москва исключён из выборки) и только в период с апреля по октябрь.

При сравнении наблюдений с помощью ARU и наблюдений, выполненных людьми, рассчитывался % по формуле:

$$N\% = \frac{N_{\text{aru}}}{(N_{\text{aru}} + N_{\text{hum}})} * 100,$$

где N% — доля наблюдений с использованием ARU; N_{aru} — число наблюдений с использованием ARU; N_{hum} — число наблюдений, выполненных людьми.

Необходимо принимать во внимание, что при использовании ARU в базу данных вносили не все наблюдения, а только подтверждённые находки.

Результаты

Применимость ARU для идентификации птиц

Наибольшее число наблюдений, сделанных с помощью автономных регистрирующих устройств, относится к обычным гнездящимся видам области (рис. 3, слева). График показывает не только то, что виды являются наиболее обычными на указанной территории, но

также, что они чаще используют вокализацию в своих коммуникациях.

По нему также видно, какие виды птиц лучше идентифицируются используемой версией программного обеспечения (система ИИ BirdNET-Analyzer v2.4 лучше обучена на данных видах). В частности, широко распространённая большая синица при регистрации и идентификации с помощью ARU уступает менее обычным дубоносу и желне. Объяснить эту ситуацию можно как широким репертуаром больших синиц, которому сложно обучить систему ИИ, так и меньшим интересом людей, которые обрабатывали находки, к данному виду.

Более наглядно результат использования ARU выглядит при сравнении в процентном отношении ко всем наблюдениям в базе данных (рис. 3, справа). По некоторым видам доля обнаружения с помощью ARU достигает 50%. Виды птиц на данном графике можно условно разделить на следующие группы:

- гнездящиеся виды, активные в ночное время (совы, козодой, погоныши, вальдшнепы),
- виды птиц, пролёт которых идёт в ночное время (кроншнепы, выпи, белобровики),
- плохо определяемые по вокализации виды (юрок, завирушка, дубонос).

Существует и другая категория птиц, регистрация которых с помощью устройств ARU минимальна. На рис. 3 показаны наиболее распространённые виды (по числу наблюдений в Московской обл. в базе данных RU-BIRDS.RU), которые не регистрировали или регистрировали в минимальном числе при пассивном акустическом мониторинге.

Несмотря на то, что устройства ARU устанавливали и в границах водно-болотных биотопов, многие околоводные птицы регистрировались / идентифицировались достаточно плохо. Так, среди уток хорошо регистрируются кряквы (*Anas platyrhynchos*), свиязи (*A. penelope*) и чирки-свистунки (*A. crecca*). А такие негромкие по вокализации утки, как широконоска, хохлатая чернеть, красноголовый нырок практически не встречаются в результатах использования устройств.

Среди плохо идентифицируемых птиц встречаются как истинно молчаливые виды (аист, хищные птицы, некоторые утки, турухтан, серый сорокопуд), так и редкие виды для Московской обл. (дроздовидная камышевка).

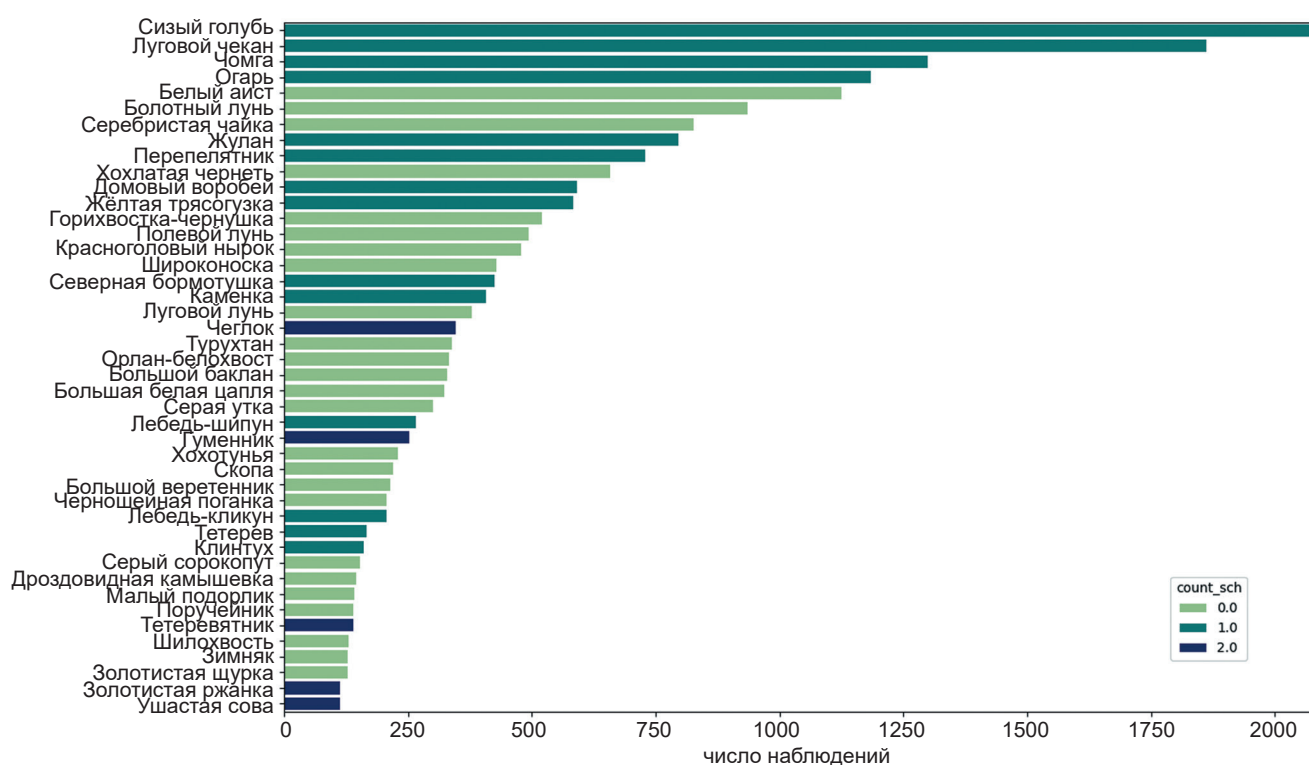


Рис. 4. Виды птиц с наименьшим числом наблюдений с использованием ARU.

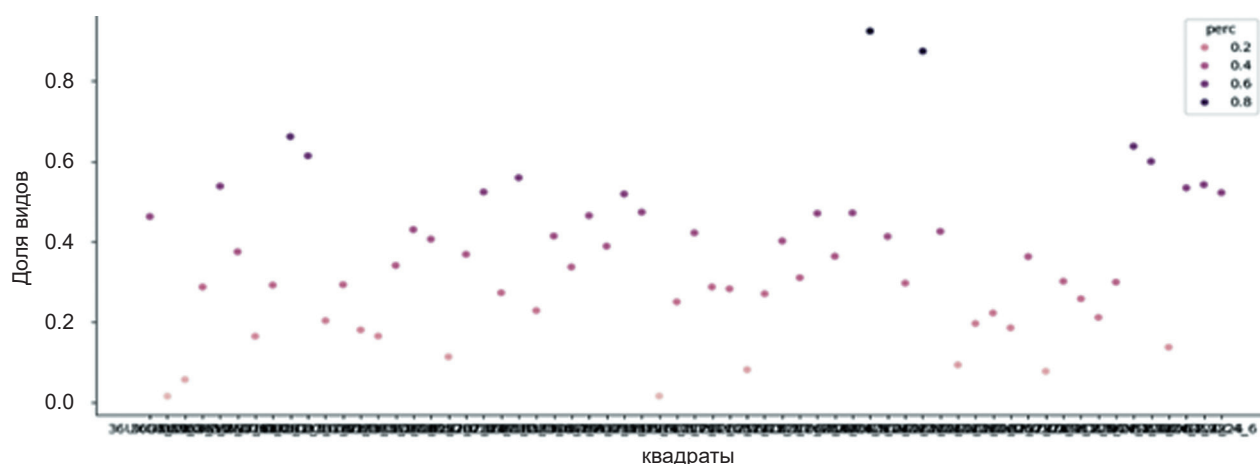


Рис. 5. Диаграмма вклада ARU в наблюдения на квадратах атласа (% видов, найденных с использованием пассивного акустического мониторинга).

Статистика показывает, что плохо идентифицируются используемыми средствами и некоторые широко распространенные виды, которые имеют достаточно высокую локальную активность в определенные периоды времени. К таким видам можно отнести лугового чекана, полевого жаворонка (*Alauda arvensis*), вертишейку (*Jynx torquilla*), ушастую сову. Интерпретировать эти данные можно по-разному. С одной стороны, это могут быть недостатки обучения используемой модели ИИ. С другой стороны, — возможная специфика выбора мест и времени для установки устройств ARU.

Применимость ARU для создания атласа распространения птиц

Проект создания Атласа птиц Московской области был начат в 2019 г. (Волцит, Калякин, 2020), и на конец 2024 г. территорию области можно считать обследованной почти полностью. В рамках проекта требовалось

обследовать 500 квадратов размером 10×10 км и составить максимально полный список гнездящихся, зимующих и пролётных птиц квадрата.

В 2023 и 2024 г. для обследования квадратов стали применять устройства ARU на базе Birdnet-PI. За этот период они были размещены в 66 квадратах, в среднем на каждом квадрате обнаружены 30–45 видов, что составляет 30–50% от общего числа видов квадрата (рис. 5).

В связи с описанной выше разницей в эффективности идентификации различных видов с помощью ARU различается и эффективность применения автономных устройств по отдельным видам птиц. На диаграмме (рис. 6) представлено сравнение результатов обследования квадратов людьми и с использованием ARU. Был взят список квадратов (>60 квадратов), в которых устанавливали устройства. Для

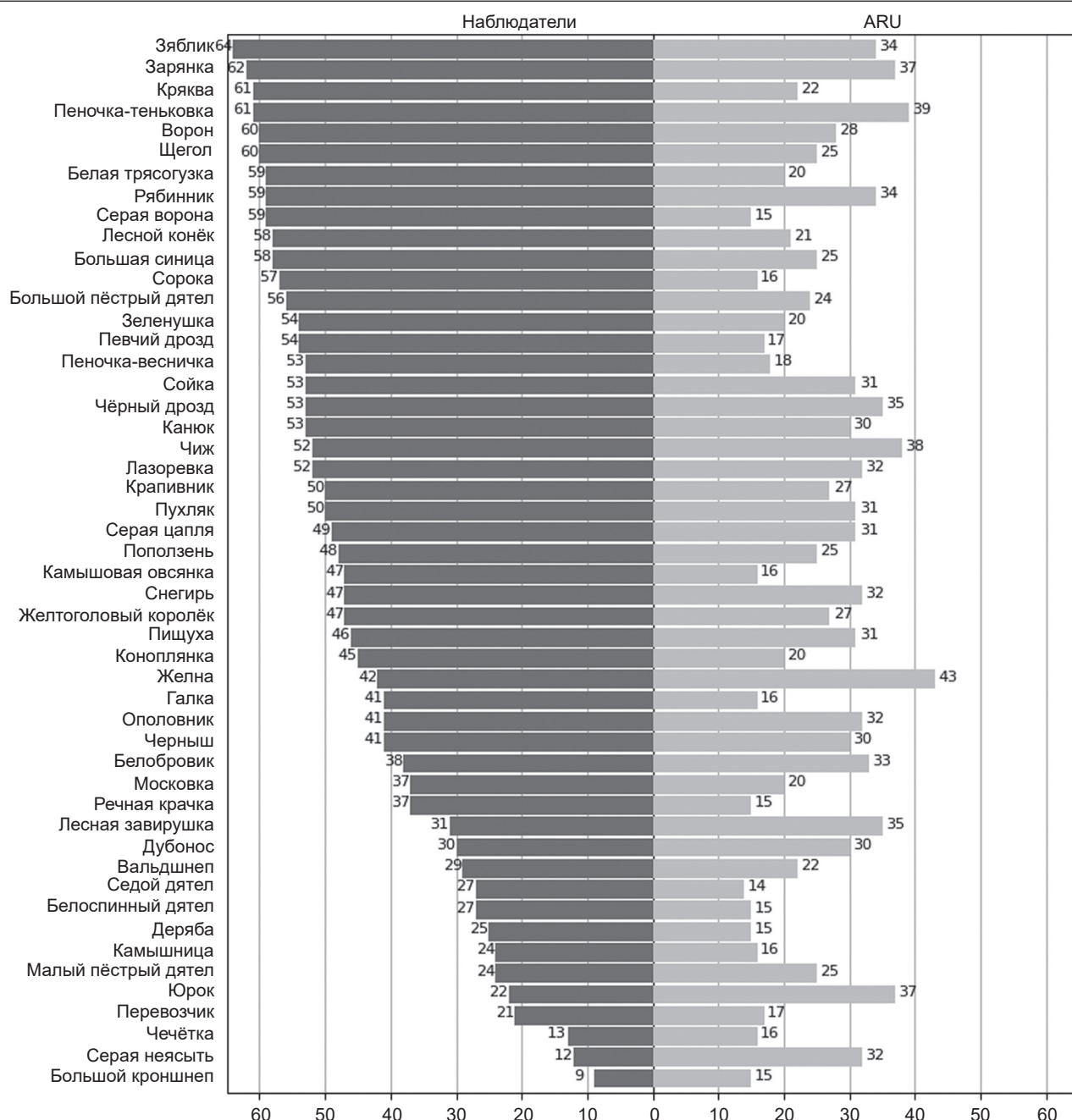


Рис. 6. Статистика обнаружения видов по числу квадратов на вид. Расчёт взят только по тем квадратам, где хотя бы единоразово устанавливалось устройство ARU.

самых встречаемых видов птиц рассчитывали число квадратов, на которых они отмечены людьми или с помощью ARU.

По большинству видов птиц выявляемость людьми при непосредственном обследовании квадратов и с помощью устройств ARU оказалась сопоставима. Надо принимать во внимание, что не по всем видам данные идентификации с устройств вносили в базу данных RU-BIRDS.RU в полном объёме (например, пропускали идентификации серой вороны, ворона и других обычных видов).

Наиболее выражена эффективность непосредственных обследований квадратов людьми по таким видам как луговой чекан, чёрный стриж, обыкновенная овсянка, вяхирь, деревенская ласточка и др. В то же время, устройства ARU хорошо показывают эффектив-

ность при выявлении на квадратах таких видов как серая неясыть, вальдшнеп, желна, малый пёстрый дятел, дубонос, юрок (на пролёте).

Применимость ARU для изучения вокальной активности птиц

Большой объём данных, который можно собрать в автономном режиме с помощью ARU, предполагает широкий потенциал применимости устройств в исследовании биоразнообразия и вокальной активности птиц, выявлении закономерностей между параметрами активности и различными климатическими и антропогенными факторами. В случае применения средств искусственного интеллекта для обработки накопленных акустических данных остро встаёт вопрос точности идентификации и разработки специальных метрик, позволяющих эту точность определить.

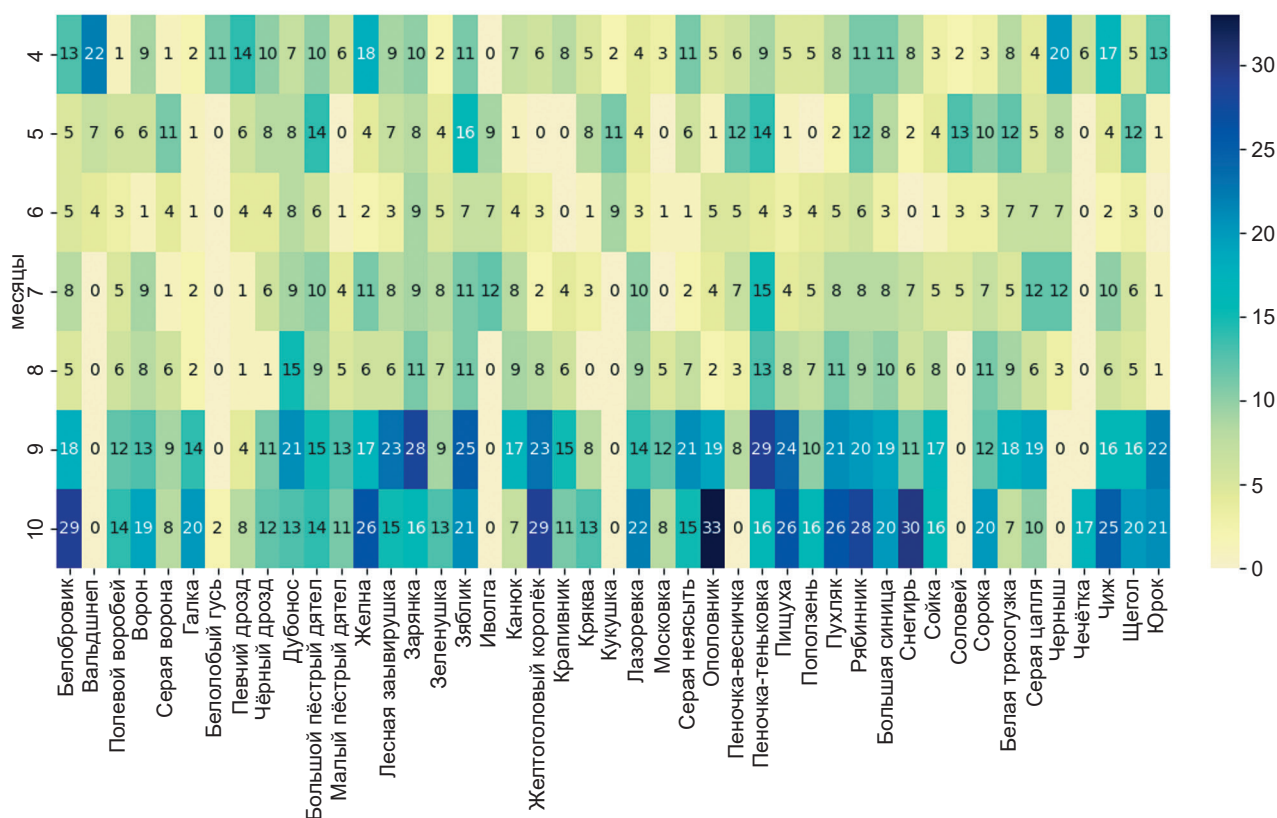


Рис. 7. Тепловая карта вокальной активности птиц по месяцам.

Известно, что Birdnet точно предсказывает виды в 59–92% случаев (Pérez-Granados, 2023). При этом Birdnet выдаёт свою оценку точности предсказания, которая может сильно отличаться от вида к виду и не всегда соответствовать фактической точности определения. Обычно фактическую точность рассчитывают по формуле:

$$T_{\text{факт}} = N_{\text{tp}} / (N_{\text{tp}} + N_{\text{fp}}),$$

где $T_{\text{факт}}$ — точность фактическая, N_{tp} — число истинно-положительных срабатываний, N_{fp} — число ложноположительных срабатываний. Повышение фактической точности связано с уменьшением числа ложноположительных идентификаций. Достижение высоких показателей точности возможно с помощью различных способов постобработки данных, самый простой из которых заключается в отсеивании всех данных, по которым оценка точности предсказания Birdnet ниже порогового 0.95 (Toenies, Rich, 2021). Также применяют оценку пороговых значений, специфичных для каждого вида (Singer et al., 2023).

В нашей работе все данные проверяли люди, поэтому необходимости в использовании таких метрик не было. Применяемое средство автоматизации на базе Birdnet использовали только для предварительной идентификации и облегчения обработки данных. В базу данных RU-BIRDS.RU вносили отдельные выборочные регистрации птиц с привязкой к точке установки ARU и с указанием даты регистрации. Пример данных, которые при таком подходе можно получить, показан на рис. 7.

На рис. 7 показаны регистрации птиц с использованием ARU за 2023–2024 гг. в Московском регионе с апреля по октябрь выборочно по отдельным видам. По сформированной тепловой карте видно следующее:

— вальдшнепы и черныши наиболее активно токут в апреле;

— вокальная активность кукушек приходится на май и июнь;

— уже в июне происходит заметный спад вокальной активности гнездящихся видов;

— рост наблюдений в сентябре, скорее всего, связан как с миграцией птиц, так и с большей активностью наблюдателей.

Чтобы результаты исследований вокальной активности птиц с использованием ARU были более точными, необходимо решить вопрос не только уменьшения числа ложноположительных идентификаций, но и выработки правил сбора данных. Например, чтобы на протяжении всего исследования использовали одинаковое число устройств, устройства применяли в одинаковые промежутки времени на одних и тех же модельных участках. При соблюдении подобных условий можно анализировать не только среднемесячную вокальную активность птиц, но и суточную активность. На рис. 8 для примера приведена суточная активность серой неяссы, соловья и желны по данным установок различных устройств в разных точках Московской обл. с марта по октябрь. Для данных выборок применяли порог отсеивания в 95% оценки точности Birdnet.

Обсуждение

Мы продемонстрировали возможности использования автономных регистрирующих устройств для проведения пассивного акустического мониторинга на базе миникомпьютера Raspberry PI и программного обеспечения Birdnet-PI. Рассмотрели примеры использования ARU для исследования авифауны Московского региона, а также возможности по изучению вокальной активности птиц. При учёте особенностей применения, выработке обоснованных способов сбора и обработки данных ARU показали себя эффективным помощником в исследовательской деятельности.

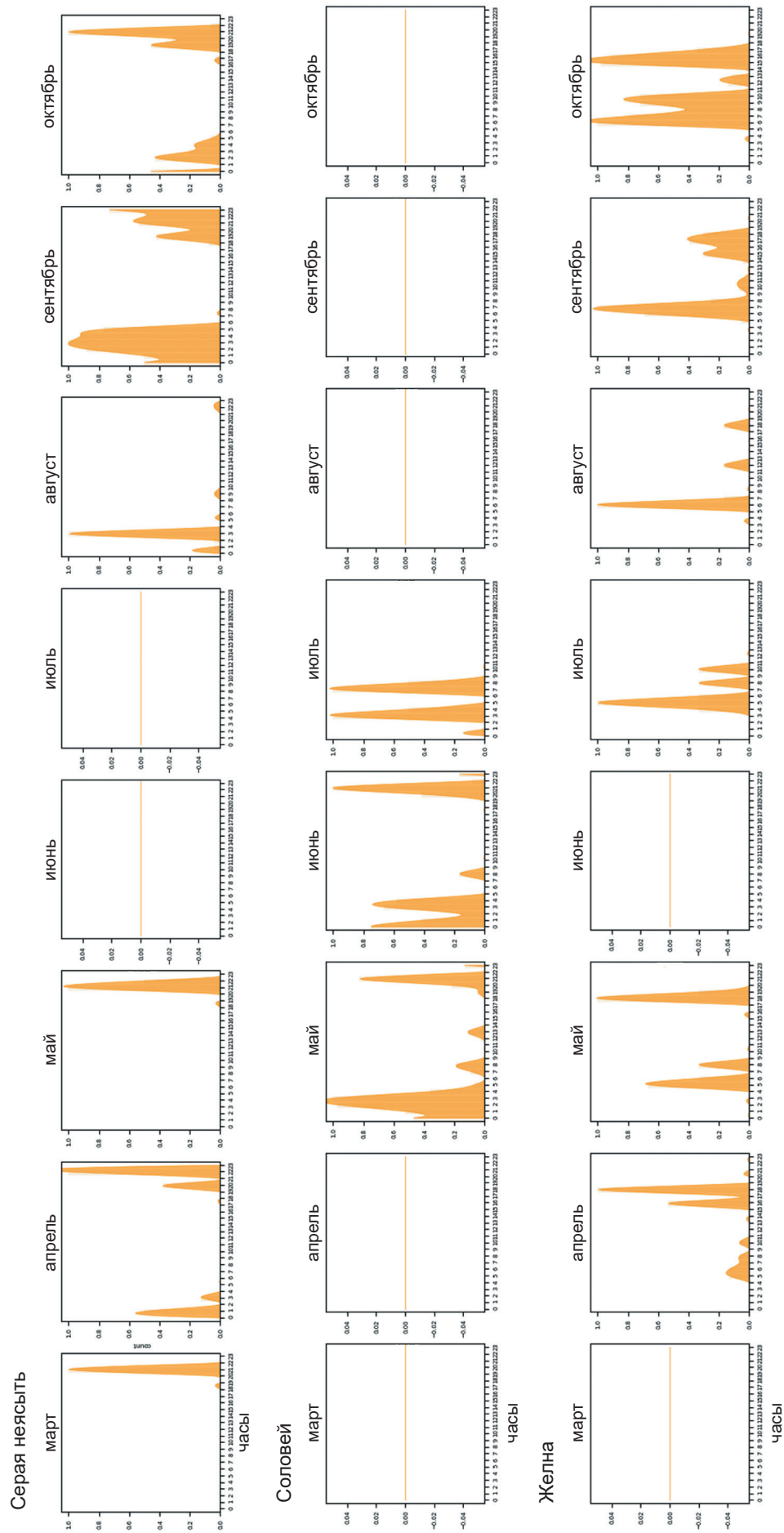


Рис. 8. Графики вокальной активности птиц трёх видов по месяцам и времени суток.

В качестве инструмента для исследования фауны птиц рекомендуется применять ARU в стационарном или мобильном варианте с обязательной проверкой результатов идентификации специалистами в области биоакустики птиц. Особенно эффективно применение ARU для видов птиц с преимущественно ночной вокализацией (решается проблема бодрствования учётчиков в тёмное время суток), а также для мигрирующих видов со сложно определяемыми позывками.

Изучение вокальной активности птиц требует обработки больших объёмов данных, а значит — применения средств автоматизации на базе ИИ. Для обеспечения высокой достоверности данных необходима разработка новых или использование существующих методик по снижению ложноположительных идентификаций. Рекомендуется определение видоспецифичных порогов точности предсказания системами на базе ИИ и их применение для постобработки и отсеивания данных.

Благодарности

Автор выражает огромную благодарность участникам проекта создания Атласа птиц Московской области, которые в том числе участвовали в сборе данных о разнообразии птиц региона с использованием устройств ARU. Отдельная благодарность В.Ю. Архипову и Х. Грооту Куркампу за помощь в определении птиц по голосам на всём протяжении проекта. Также хотел бы поблагодарить А.А. Меркулову за участие в сборе данных и редактировании данной статьи.

Илья Иванович Уколов, iiukolov@yandex.ru

К вопросу о сычах и микрофонах

Александр Салов, Светлана Насонова

Август 2024 года. Исполнился 101 год со дня рождения советского математика и кибернетика, ну и просто одного из основателей советских информационных технологий Виктора Михайловича Глушкова, идеи которого опередили свое время и всё ещё опережают наше. Перед семейной четой двух представителей IT-профессий стоит задача: как быстрее и лучше закрыть квадраты для создания Атласа птиц Московской области? Здоровье и увлечение туризмом позволяют за выходные обойти пару квадратов и зарегистрировать основные дневные виды. За 2–3 выхода в сезон легко можно набрать под сотню видов. Но поиск последних из этой сотни происходит в точном соответствии с законами Мёрфи. Последнего голубя, короля или галку обязательно придётся искать под вечер, из последних сил. Не всегда спасает даже разбор сделанных на маршруте фотографий. Чтобы избежать такой ситуации, хотелось бы иметь заранее «запас» отмеченных видов. Может, имеет смысл вести учёт пролётных видов? Которые в полном соответствии с названием летят сутки на пролёт и часто — в тёмное время суток. Ночью же можно засечь сов, в сумерки — сычей. Но где паре айтишников на всё это взять время? Его нет. Ну что, айтишники, вспоминаем заветы советских кибернетиков и пробуем автоматизировать процесс?

Прежде чем изобретать велосипед, стоит поискать готовые решения. Нынче предприниматели за деньги готовы удовлетворить любой запрос клиента.

Литература

- Волцит О.В., Калякин М.В. 2020. Атлас птиц Московской области: итоги первого года. — Москва, 31: 1–3.
- Уколов И.И. 2023. Автоматическая регистрация птиц по голосам 24/7 на базе BirdNet-PI. — <http://www.birds-online.ru/news/автоматическая-регистрация-птиц-по-г.html>
- Bobay L.R., Taillie P.J., Moorman C.E. 2018. Use of autonomous recording units increased detection of a secretive marsh bird. — *J. Field Ornithol.*, 89: 384–392. <https://doi.org/10.1111/jof.12274>.
- Farmer R.G., Leonard M.L., Horn Observer A.G. 2012. Effects and Avian-Call-Count Survey Quality: Rare-Species Biases and Overconfidence. — *Auk*, 129: 76–86. 10.1525/auk.2012.11129
- Funosas D., Barbaro L., Schillé L., et al. 2024. Assessing the potential of BirdNET to infer European bird 461 communities from large-scale ecoacoustic data. — *Ecological Indicators*, 164: 112146. 462 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112146>
- Kahl S., Wood C.M., Eibl M., Klinck H. 2021. BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. — *Ecological Informatics*, 61 (7):101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>
- Pérez-Granados C. 2023. BirdNET: applications, performance, pitfalls and future opportunities. — *Ibis*, 165: 13193.
- Singer D., Hagge J., Kamp J., Hondong H., Schuldt A. 2023. Aggregated time-series features boost species-specific differentiation of true and false positives in passive acoustic monitoring of bird assemblages. 10.13140/RG.2.2.10556.82568.
- Singer D., Kamp J., Hondong H., Schuldt A., Hagge J. 2024. Diel and seasonal vocal activity patterns revealed by passive acoustic monitoring suggest expert recommendations for breeding bird surveys need adjustment. 10.13140/RG.2.2.34491.84003.
- Toenies M., Rich L.N. 2021. Advancing bird survey efforts through novel recorder technology and automated species identification. — *Calif. Fish Wildl.*, 107: 56–70.
- Ukolov I.I., Romanov M.S., Arkhipov V.Yu., Kalyakin M.V., Voltzit O.V. 2021. Ru-Birds.RU, bird observations from Russia and neighboring regions: an occurrence dataset. — *Biodivers. Data J.*, 9: e76202.

Что же предлагает рынок? Первое, что попадаетея — это американский проект Birdweather PUC. Цену и работу маркетологов можно оценить на сайте проекта (www.birdweather.com). Там же дана спецификация изделия, которое представляет собой по сути Wi-Fi-микрофон, требующий подключения к беспроводной сети и приложению на телефоне. Красиво. Для полевых условий не подходит. Пока отложим эту идею в сторону.

Второй вариант, который привлекает внимание, — проект BirdnetPI. В русскоязычном интернете он представлен в формате доходчивой инструкции по сборке со всеми необходимыми ссылками в блоге И.И. Уколова (www.birds-online.ru/news/автоматическая-регистрация-птиц-по-г.html). К тому же интереснейшие отчёты И.И. Уколова в конференции «Атлас птиц МО» серьёзно стимулируют интерес именно к этому проекту. Цена решения «не кусается», а если не подойдёт, то аппаратная составляющая станции легко пригодится в быту.

Итак, выписываем в качестве основы одноплатный компьютер RaspberryPi. Можно и другие, но для простоты была использована новая, 5-я версия устройства. К нему в комплект был приобретён внешний аккумулятор Romoss PEA40 Pro, а в качестве корпуса — распределительная коробка для уличной электропроводки. Аккумулятор от непогоды должен был спасти литровый гермомешок для документов. В качестве микрофона был взят Voya BY-MM1, от которого, правда, в дальнейшем отказались. Всё это обошлось примерно