

УДК 599.323.5;675.087

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ ПТИЛОЛОГИИ В РОССИИ

© 2021 г. О. Л. Силаева¹, *, О. Ф. Чернова¹, **

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

*e-mail: sevinbirdstrike@yandex.ru

**e-mail: chernova@sevin.ru

Поступила в редакцию 04.06.2021 г.

После доработки 22.06.2021 г.

Принята к публикации 22.06.2021 г.

Статья обзорного характера посвящена актуальным прикладным вопросам идентификационной птилологии — раздела науки о перьевом покрове птиц, занимающейся проблемой идентификации птиц по целым перьям и их микроскопическим остаткам. Идентификационная птилология развивается в тесном взаимодействии с авиационной орнитологией¹. Статья содержит анализ данных зарубежной и отечественной литературы по вопросам влияния идентификационной птилологии на авиационную орнитологию, а также развития прикладных, организационных и стратегических вопросов последней. Приведены конкретные примеры таксономической идентификации перьев по микро- и макроструктуре, определена роль некоторых признаков микроструктуры пера для экспертизы и филогенетических построений. Разработана система диагностических признаков одиночного пера, описано несколько новых элементов пера и дополнены сведения по известным перьевым структурам. С помощью математических методов (кластеризация по морфометрическим данным микроструктурных компартаментов пера) определены филогенетические связи между таксонами высшего и среднего ранга. Определена роль коллекций и определителей птиц по макро- и микроструктуре пера для идентификационных исследований перьевого материала. Рассмотрены прикладные и научные пути решения проблем аэродромной экологии, а именно защиты воздушных судов от биоповреждений, вызываемых птицами. Отмечена необходимость идентификации видов — участников столкновений с воздушными судами. Начат проект по физико-географическому и климатическому районированию. Цель проекта — определить наиболее опасные для полетов авиации виды птиц в районах и на территориях аэропортов в разные сезоны года. Созданы комплексные системы видового определения птицы по перьевым остаткам для авиационной орнитологии, куда входит анализ структуры перьевого материала, эколого-географический и молекулярно-генетический анализы; совокупность методов позволяет обрабатывать большие массивы данных исключительно по структуре групп перьев, одиночного пера или его фрагментов.

Ключевые слова: авиационная орнитология, птилология, идентификация по остаткам перьев, микроструктура пера

DOI: 10.31857/S0042132421060089

ВВЕДЕНИЕ

Оперение как уникальная и чрезвычайно полиморфная биологическая структура во многом определяет видовое многообразие и видоспецифичность птиц, служа их “визитной карточкой”. Помимо эстетической и хозяйственной ценности для человека, перья дают ему пример структурной целесообразности — природного технического чуда, сочетающего широкую мультифункциона-

льность, разнообразие, высокую степень дифференциации макро- и микроструктуры и уникальные физико-химические свойства образующих перо кератинов. Именно эти свойства оперения обеспечивают полет, аэро- и гидродинамику, гидрофобность, теплозащиту (Wolf, Walsberg, 2000), протекторные свойства, тактильность, камуфляж и др. (Stettenheim, 1976, 2000). Перья, благодаря специализации, пространственной конфигурации и тонкому строению, служат для производства либо приглушения звуков, издаваемых оперением, в том числе при полете (Weger, Wagner, 2017; Fadeeva, 2021). Они имеют коммуникативное сигнальное значение, участвуя в формировании своеобразного визуаль-

¹ Авиационная орнитология — это одно из направлений прикладной орнитологии, которое занимается минимизацией биоповреждающей деятельности птиц и других животных в аэропортах, в основном столкновений воздушных судов с птицами.

ного языка демонстрационных поз птицы (Бородулина, Формозов, 2015; Ruxton et al., 2017). Известны узкоспециализированные перья. Например, перья могут служить для доставки воды: самцы некоторых африканских видов рябков *Pterocles Temminck*, 1815 в зобу и на гидрофильных перьях брюшка приносят воду для своих птенцов (Гаврилов, 1993; Joubert, Maclean, 1973). Или, напротив, перья обладают гидрофобными свойствами, например, у пингвинообразных *Sphenisciformes* (Костина и др., 1996). У эму *Dromaeus novaehollandiae Vieillot*, 1816 благодаря специализированной архитектонике поверхности (пористости) перья также выполняют целый ряд важнейших функций (Чернова, Фадеева, 2009; Чернова, Коблик, 2010). Перья защищают ушное отверстие также у сов *Strigiformes* и других птиц и улучшают акустическое восприятие звуков (Ильичёв, 1962; Koch, Wagner, 2002).

Для человека, безусловно, важны идентификационные свойства перьев, позволяющие определять таксономическую принадлежность конкретной особи. Топография оперения птицы отличается расположением комплексов более или менее однотипных перьев на определенных участках тела – птерилиях. Однако опознать птицу по особенностям расположения, окраске и морфологии перьев, а тем более их фрагментов, не всегда просто.

В настоящее время актуальны исследования перьевых структур в рамках нового фундаментального направления птилологии – систематики птиц, основанной на морфологии пера, так как связь морфологических исследований структуры пера с систематикой и филогенетикой очевидны. Особенности структуры перьев свидетельствуют не только об их таксономическом значении, но и о филогенетическом родстве разных таксонов, а также о популяционной и внутривидовой изменчивости. Методологически это направление опирается на птилологический метод неклассической систематики, что позволяет проводить идентификацию особи по микроструктуре пера.

Прикладные аспекты птилологии сейчас активно развиваются в связи с актуальностью проблемы столкновений воздушных судов (ВС) с птицами; число таких инцидентов постоянно увеличивается. Это обусловлено возрастанием скоростных характеристик ВС, количеством их взлетно-посадочных маневров, а также направленностью шумовой струи двигателя ВС. Идентификация вида птицы, участвовавшей в инциденте, чрезвычайно важна, так как позволяет определить биологические риски для конкретного аэродрома, принять адекватные меры по управлению поведением соответствующего вида птиц для сдерживания роста числа опасных столкновений ВС с птицами. Идентификация не-

обходима также и для конструирования защитных устройств для двигателей ВС. При этом методы определения вида, участвовавшего в столкновении с ВС, коренным образом отличаются от идентификации того же вида в природе. Исследования перьевых структур необходимы для решения глобальной задачи по определению наиболее проблемных, с точки зрения орнитологической безопасности полетов, аэродромов и для создания геоинформационной эколого-орнитологической базы данных аэропортов РФ. Аэродром представляет собой сложнейший комплекс технических, социальных и экологических составляющих, и для решения проблемы безопасности полетов необходим системный подход к контролю аэродромной среды.

Лаборатория экологии и управления поведением птиц (ЛЭУПП) Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН) с 1980-х гг. остается базовой для сотрудничества в рамках программы минимизации опасности птиц для ВС, проводимой Международным комитетом по прикладной орнитологии (International Committee of Applied Ornithology) и Международной организацией гражданской авиации (International Civil Aviation Organization, ICAO). ИПЭЭ РАН – единственное научное учреждение в РФ, которое проводит комплексные исследования по идентификации вида птицы с выдачей документированной экспертизы, биологической справки по виду птицы и рекомендаций для конкретного аэропорта.

Определение вида птицы по структуре перьев применяется также в археологии, палеонтологии, палеобиологии, экологии окружающей среды, в криминалистике, в судебной и биологической экспертизе соблюдения норм Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (CITES – The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). Перьевой покров птиц служит объектом и в других областях исследования: орнитологии, зоологии (ареалы обитания, миграции, пищевой рацион, периоды линьки), бионике (конструирование бесшумных летательных аппаратов и др.), этнографии и антропологии, а также в экологическом образовании. При проведении полевых исследований возникает необходимость определения видовой принадлежности птицы по найденному перу для выяснения многих сторон биологии соответствующего вида. Перья – один из основных идентификационных признаков птицы; они хорошо сохраняются длительное время и имеют много диагностически значимых макро- и микроструктур.

Несколько лет назад нами была опубликована статья по определению вида птицы на основе

микроструктурных характеристик фрагментов пера (Силаева, 2008). В ней на основе анализа зарубежной и отечественной литературы было показано состояние прикладных и фундаментальных исследований микроструктуры перьевого материала. С 2008 г. пtilологическое направление получило значительное развитие. Опубликовано серия определителей вида птиц по микро- и макроструктуре перьев (Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018). Разработана система диагностических признаков одиночного пера, описано несколько новых элементов пера и дополнены сведения по известным перьевым структурам. Активно развивается новое направление таксономических исследований на основе морфологии пера, идентификации таксона по структурным особенностям перьев на уровне макро- и микроструктуры и по архитектонике (внутреннему дизайну) пера.

1) Выявлены особенности и степень индивидуальной изменчивости структурных компарментов пера в пределах таксонов разного ранга, а также филогенетические связи между таксонами по этому показателю.

2) Разработаны новые методы определения таксона по одиночному перу и его фрагментам. С помощью математических методов в результате кластеризации по микроструктурным признакам пера удалось определить системные связи между таксонами высшего и среднего ранга (Силаева и др., 2018). Развивается методологическая база на основе совмещения тестируемых перьевых структур с эталонными.

3) Созданы комплексные системы видового определения птицы по перьевым остаткам для авиационной орнитологии, куда входит анализ структуры перьевого материала, эколого-географический и молекулярно-генетический анализы.

4) В рамках договоров с аэропортами и авиакомпаниями по экспертизе перьевых остатков применяют анализ ДНК для сопряженной идентификации. Необходимо отметить ряд преимуществ морфологической экспертизы перьевого материала перед молекулярно-генетическим анализом: быстрота, простота и дешевизна определения таксона.

5) Для обработки больших массивов данных используют уникальный метод исследования исключительно по структуре групп перьев, одиночного пера или его фрагментов в зависимости от количества перьевого материала.

6) Собраны и частично обработаны базы данных по столкновениям ВС с птицами с идентификацией вида-участника инцидента и установлением географической точки столкновения. Орнитологи и экологи ИПЭЭ РАН получили доступ к базам данных Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) по инцидентам с птицами и, соответственно, имеют возможность

анализировать данные по биологическим обстоятельствам столкновений. Это позволит определять риски от биоповреждающей активности птиц на конкретных аэродромах, давать рекомендации аэропортам по предотвращению таких инцидентов, а, значит, сохранить жизни людей и технику. Такая аналитическая работа интенсивно ведется, в частности, осуществляется проект по физико-географическому и климатическому районированию.

Цель настоящей статьи состоит: 1) в демонстрации развития пtilологических исследований в России за последние годы, а также в анализе перспективных тенденций; 2) в оценке координации пtilологических исследований и работ в области экологии аэродромов.

МЕТОДОЛОГИЯ ПТИЛОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перьевые и таксидермические коллекции как основа пtilологических исследований

Метод макроструктурного определения вида птицы по маховым и рулевым перьям, а также по наиболее характерным группам покровных перьев активно применяется в орнитологии для идентификации вида. Вид определяют, сопоставляя оперение живой особи, тушки или фрагментов перьев с коллекционным и/или иллюстративным материалом классических полевых определителей в реальном и электронном виде. Перьевые и таксидермические коллекции используются и для подготовки коллекционных баз микропрепаратов перьев.

Перьевая коллекция ЛЭУПП ИПЭЭ РАН существует с 2005 г. и содержит перьевой материал от 2142 особей 328 видов из 57 семейств и 21 отряда, что составляет 36% видов и 95% отрядов, представленных в современной фауне РФ (Коблик, Архипов, 2014). По 43 видам из 21 семейства и 5 отрядов собраны и оформлены 128 полных коллекций перьев в соответствии с основными птерилиями. Коллекция содержит 292 крыла от 119 видов из 39 семейств и 14 отрядов; 270 шкурок 84 видов из 28 семейств и 8 отрядов птиц. Всего в коллекции более 35 тыс. экземпляров перьев.

В коллекцию входят фрагменты перьев птиц после столкновения с ВС и около 1232 микроскопических препаратов перьев 140 видов птиц из 10 групп. Коллекцию используют как эталонную базу для прикладных морфологических исследований по перьям, а также для других научных и образовательных целей. Систематизированные коллекции покровных перьев редки и ценны, так как обычно сборы включают лишь рулевые и маховые перья.

Пополнение коллекции не наносит вреда птицам, это связано с нашими природоохранными

убеждениями, с применением гуманных, щадящих методов сбора материала, так как никакими высокими научными целями нельзя оправдать массовый отлов и отстрел птиц. В нашу коллекцию поступают остатки погибших птиц: это преимущественно материал, собранный вдоль автодорог и линий электропередач, на кормовых участках хищных птиц или любезно предоставленный нам коллегами, охотниками и егерями. Нам передают также негодные для экспонирования музейные чучела и тушки.

Материалы коллекции использованы нами для написания серии русскоязычных оригинальных определителей птиц разных таксономических групп по перу и его фрагментам (Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018) и около 30 научных статей. Эти определители можно использовать в качестве классических видовых, а также для микроструктурных исследований (см. ниже).

Определители перьев птиц

К настоящему времени накопилось достаточное количество электронных и бумажных справочников по маховым и рулевым перьям, особенно таких, которые позволяют определять птиц в природе. Для нас представляют интерес перьевые справочники, по которым можно установить принадлежность групп перьев, одиночных перьев или их фрагментов, или универсальные определители для тех и других целей. Такие справочники способствуют развитию идентификационных морфологических исследований по структуре перьевого материала.

Из иностранных атласов-определителей прежде всего следует отметить “Определитель перьев птиц Центральной Европы” (Bergmann, 2015), содержащий сведения по перу для 298 видов наиболее важных гнездящихся птиц и регулярных мигрантов. Руководство снабжено 377 цветными иллюстрациями перьев и 259 таблицами. Во вводной главе рассматриваются наиболее интересные для сбора птилологических коллекций биотопы, линька птиц, а также правовые вопросы сбора перьев, хранение и систематизация перьевых коллекций. Здесь же подробно разбирают особенности строения крыла Воробьинообразных и Неворобьиных птиц с функциональным значением некоторых перьев. Этим же автором опубликовано два полевых определителя такого же стиля по морским, речным и околородным птицам (Bergmann, 2010, 2012). Общая информация по каждому семейству предваряет повидовой очерк, который содержит детальные сведения по оперению с учетом основных птерилий и размеров самого длинного первостепенного махового и рулевого перьев. Таблицы с фотографиями перьев включают основные наиболее характерные и значимые для идентификации вида перья — махо-

вые и рулевые, а также некоторые кроющие. Однако мелкие покровные перья почти не рассматриваются. Определитель имеет тройное назначение: идентификация по отдельно найденным перьям или по одному перу; как традиционный полевой определитель и как учебно-методическое пособие по птилологии.

На заявленный еще в 1990-е гг. “Определитель европейских птиц по перьям” можно подписаться (Atlas of Feathers for Western Palearctic Birds). Это монументальный и оригинальный перьевой атлас, состоящий из двух томов: Воробьинообразные и Неворобьиные птицы. Его особенность в том, что маховые и рулевые перья представленных семейств расположены в виде круговой модели. Абрисы перьев прорисованы разными оттенками цветов и наложены друг на друга. По радиусам отложены значения процентных соотношений между размерами перьев. Самое длинное маховое представлено со значением в 100%, все другие перья определяются по относительному проценту. Такой метод позволяет выявить даже самые тонкие пропорциональные отличия в размерах перьев, например, видов-близнецов. В модель включено и крылышко (*Alula*), поскольку оно выполняет важную аэродинамическую функцию и, несмотря на свой малый размер, относится к крупным перьям. Перья отдельных видов разных перьевых нарядов представлены также в линейной форме.

В 2015 г. в интернете появился анонс немецкоязычного определителя “Рулевые перья птиц Центральной Европы” (Hansen, Synnatzschke, 2015), подготовленный на базе черно-белого определителя тех же авторов (Hansen, Synnatzschke, 1998). В книге описаны рулевые перья 300 видов птиц Центральной Европы. Она дополнена новым материалом и содержит 600 таблиц с промерами перьев; подробно описаны характерные особенности перьев каждого вида и разных перьевых нарядов — половых и возрастных: цвет, форма, индивидуальные вариации длины. Для перьев некоторых видов проведено более тысячи индивидуальных измерений. На базе Музея Наумана (Das Naumann-Museum Köthen (Anhalt, Deutschland)), где собрана самая большая научная коллекция перьев птиц, в 2010 г. организована рабочая группа по морфологии пера. Ее цель — создание атласа по перьям всех птиц мира. Проект был представлен Международному Союзу охраны природы (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN). Пока собраны перья примерно 10% видов мировой орнитофауны. Сведения о перьях можно найти на ряде сайтов интернета.

Определитель по перьевым микроструктурам двух отрядов птиц Ржанкообразных Charadriiformes и Гусеобразных Anseriformes опубликован

в материалах Европейского комитета по столкновениям ВС с птицами (Perremans, 1992). С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) автор исследовала перьевые структуры 65 представителей отряда Ржанкообразных, принадлежащих к 31 роду и 13 семействам. Предложена идентификация таксона по дорзальной поверхности кутикулы стержня пера и бородачок. Подобным же образом изучено 16 видов Гусеобразных. Явные различия выявлены между утками, гусями и лебедями. Составлен дихотомический идентификационный ключ. Такие ключи дополняют и украшают определители, могут облегчить процесс идентификации. Однако создание идентификационного ключа довольно затруднительно, так как приходится учитывать множество факторов, не только единичные микро-, но и микроструктурные диагностические признаки.

Из русскоязычных определителей по перу следует отметить «Атлас-определитель перьев птиц» (Корепова, 2016). В нем представлены рулевые и маховые перья 161 вида птиц, принадлежащих к 18 отрядам. Размеры перьев можно легко оценить по масштабированному фону. В основу атласа положен оригинальный принцип структурирования перьевого материала по цвету и цветовым сочетаниям, что облегчает работу по поиску нужного вида. Оперение птиц описано подробно, учтены все детали, необходимые при идентификации птицы по фрагментам ее оперения.

С весны 2018 г. действует сайт по определению вида по перьям, разработанный Лабораторией по изучению перьевого покрова птиц Ульяновского областного музея им. И.А. Гончарова, включающий 180 видов птиц, распространенных в России и некоторых других странах (<http://featherlab.ru>).

К сожалению, определители по перу, сочетающие макро- и микроскопические методы идентификации, единичны (Атлас-определитель..., 1995), при этом микроструктурная часть данного определителя представляет собой перевод-компиляцию работ (Brom, 1986, 1991).

Серия оригинальных определителей, опубликованных нами, отличается многовариантным применением; они могут использоваться как классические видовые справочники, а также как макро- и микроструктурные по перу. Они преимущественно предназначены для использования в прикладных идентификационных исследованиях (Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018). Эти определители построены единообразно: включены подробные сведения о биологии видов (ареал, резидентность, питание, поведение, полет, вокализация, опасность для аэродромов и др.), о полевых признаках. В том числе представлены фотографии крыла; созданы иллюстрации сканированных перьев с указанием птерилий, а также изображения, полученные в СЭМ; в некоторых

случаях приведены рисунки перьев орнитолога и художника В.М. Гудкова. Дано описание макро- и микроструктурных особенностей отдельного покровного пера и выявлены качественные и количественные диагностические признаки.

Изучение перьевых макро- и микроструктур групп перьев, одиночного пера и фрагментов пера

Идентификация по перьевому материалу принципиально отличается от определения птиц в полевых условиях или по целым музейным тушкам, так как необходимо установить таксономическую принадлежность птицы по части ее оперения, иногда по мельчайшему фрагменту. Но этот тестируемый объект находится у исследователя в руках, а не в небе, как у полевых орнитологов. На экспертизу для идентификации таксона птицы чаще всего поступают покровные перья или их фрагменты.

На уровне анатомии и световой микроскопии идентификация пера опирается на качественные и количественные (морфометрические) признаки. В российской пtilологии за основу взят сравнительно-морфологический метод исследования с применением статистического анализа морфометрических данных. На основе созданной в ИПЭЭ РАН системы диагностических признаков (СДП) перьевых структур выявлены микроструктурные особенности одиночного пера, которые используются в прикладных работах по идентификации вида птицы по фрагментам пера, а также как таксономические признаки в рамках нового направления неклассической систематики (Силаева, 2019). Анализ основан на имеющих таксономическую значимость различиях структуры групп перьев, одиночного пера и/или его фрагментов.

Отдельное перо птицы как компартмент оперения образует системный комплекс связанных между собой, частично коррелированных в линейно-метрическом отношении микро- и макро-структурных элементов. Эти элементы отражают как индивидуальную, так и видовую изменчивость оперения особи и могут служить признаками таксона разного ранга, позволяя проследивать филогенетические связи между таксонами.

Задача диагностической пtilологии состоит в определении таких структурных признаков покровных перьев птиц, которые могли бы служить в качестве диагностических. Вслед за целым рядом авторов (Chandler, 1916; Miller, 1924; Ziswiler, 1962; Lucas, Stettenheim, 1972; Dove et al., 2005) нами (Силаева, 2011а,б, 2019; Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018) подтверждены в качестве диагностических признаков следующие перьевые микроструктуры: элементы пухового луча (узлы с зубцами, междоузлия и их пигментация), ворсин-

Таблица 1. Морфометрические признаки элементов пухового луча покровного пера

№ признака	Признак, ед. измерения	Условное обозначение признака
P1	Плотность узлов (среднее количество узлов на 1 мм длины луча), шт.	$R_{\text{узн}}$
P2	Длина междоузлия, мкм	$l_{\text{межд}}$
P3	Ширина междоузлия, мкм	$w_{\text{межд}}$
P4	Длина узла, мкм	$l_{\text{узн}}$
P5	Ширина узла, мкм	$w_{\text{узн}}$
P6	Длина пухового луча, мм	$l_{\text{луча}}$

ки и флексулы; из макроструктур впервые выявлены дополнительные пуховые образования, а также соотношения некоторых признаков опахла. Следует отметить, что наиболее важными структурами пухового луча являются узлы в качестве соединительных элементов между клетками луча, а также междоузлия. Узлы в основном различаются по форме, размеру, количеству зубцов и плотности расположения на луче. Междоузлия — по длине, ширине, изогнутости и соотносительным характеристикам с соседними узлами. Кроме того, нами были открыты и описаны совершенно новые, неизвестные ранее перьевые структуры, а именно: комбинированные бородки, модифицированные пуховые лучи с удлинёнными опахальцами и т.д. (Силаева, Гуменюк, 2008; Силаева и др., 2010).

Изучение микроструктуры проводят преимущественно на покровных перьях, так как они чаще всего поступают на биологическую экспертизу и вызывают наибольшие затруднения при определении таксона. Нами изучены пуховые и комбинированные бородки (Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018) с типичными пуховыми лучами из базальной пуховой части опахла контурного или полупухового пера. Преимущественно использованы межлопаточные перья. Число изученных особей каждого вида — 1–12, а число тестируемых перьев — 1–5 от каждой особи. Тестирование проходило в несколько этапов: препаровальная подготовка (отмывка и сушка), микро- и макро-морфометрия, изготовление препаратов и микроскопия, а также изучение перьев в СЭМ.

Поиски видоспецифических признаков перьевых структур ведутся нами комплексно с применением разных методов исследования, с использованием качественных и количественных признаков. Так, с помощью статистического метода анализа многомерных данных нам удалось не только выявить признаки перьевых структур, имеющие диагностическое значение, и продемонстрировать особенности и степень индивидуальной изменчивости структурных компонентов пера в пределах таксонов разного ранга, но и по-

казать филогенетические связи между таксонами, что явилось значительным вкладом в новое направление таксономических исследований на основе морфологии пера.

Метод статистического анализа многомерных данных по микроструктурам пера

Этот метод был впервые применен нами для изучения перьевого материала в 2010 г. (Силаева и др., 2010). Для шести отрядов: Гусеобразные Anseriformes, Курообразные Galliformes, Ржанкообразные Charadriiformes, Голубеобразные Columbiformes, Дятлообразные Piciformes и Воробьинообразные Passeriformes и шести семейств Ржанкообразных птиц: Ржанковые Charadriidae, Бекасовые Scolopacidae, Тиркушковые Glareolidae, Поморниковые Stercorariidae, Чайковые Laridae и Чистиковые Alcidae был проведен идентификационный анализ по количественным признакам микроструктур пера с целью определения филогенетических связей между таксонами (Силаева и др., 2018). Кроме того, мы смогли оценить степень информативности признаков и возможность их дальнейшего использования в качестве диагностических (Вараксин и др., 2003).

Исторически значимыми и точными признаками, которые успешно применяли для идентификации высших таксонов, служили два признака пуховых лучей пера: длина пухового луча и плотность узлов на пуховом луче (Brom, 1986, 1991; Prast et al., 1996). Однако для идентификации птицы до рода и вида двух микроструктурных признаков явно недостаточно. Мы дополнили имеющиеся признаки еще четырьмя новыми (табл. 1, рис. 1) (Силаева и др., 2011, 2013, 2015, 2018).

Эти признаки долго упоминались в литературных источниках, но системно не применялись (Dove, Agreda, 2007; Yan, Wang, 2009; Dove, Koch, 2010). Таким образом, использовали шесть значимых количественных признаков, полученных в результате микроскопической морфометрии (табл. 1). Вкупе эти компартменты луча образуют единый морфологический комплекс, отражаю-

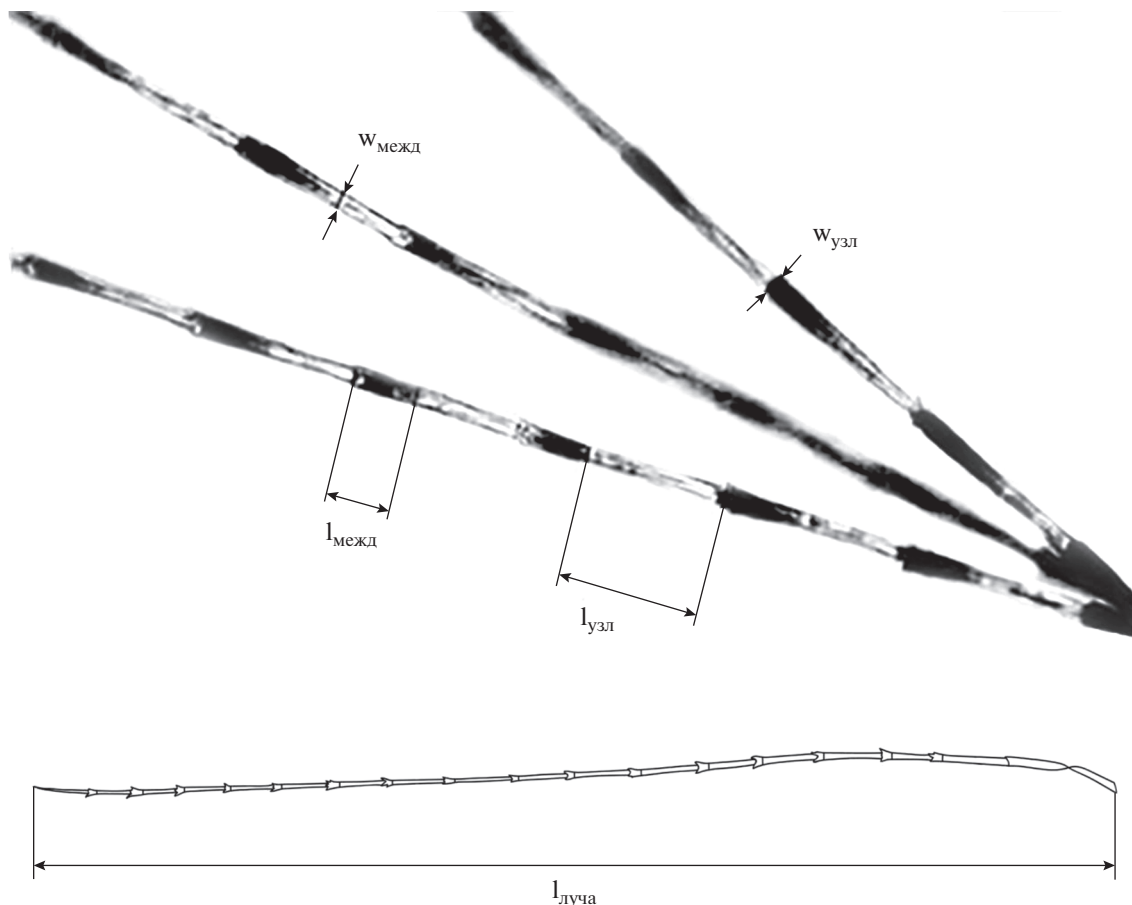


Рис. 1. Морфометрия пуховых лучей покровного пера на примере краснозобика *Calidris ferruginea*. Обозначения: $l_{\text{межд}}$ — длина междуузлия, мкм; $w_{\text{межд}}$ — ширина междуузлия, мкм; $l_{\text{узел}}$ — длина узла, мкм; $w_{\text{узел}}$ — ширина узла, мкм; $l_{\text{луча}}$ — длина пухового луча, мкм; микрофото; увеличение $\times 400$.

ший специфику таксона. Надо отметить, что качественные морфологические данные не нашли применения в филогенетике, возможно, по причине трудности их перевода в количественные (Brom, 1991).

Измерения микроструктур оперения для кластерного анализа проводили в медиальной части луча, где сосредоточены наиболее типичные элементы. Для каждого объекта (одно перо от особи) делали по 10 измерений каждого из шести признаков при увеличении $\times 200\text{--}400$; на одну особь пришлось 60 измерений (рис. 1). Во избежание большой погрешности в измерениях было задействовано минимальное количество операторов (не более двух).

Для статистического анализа сформировали обучающую выборку (ОВ) по шести вышеперечисленным отрядам и шести семействам птиц. В нее вошли данные по проведенным измерениям. ОВ включила все разнообразие набора признаков, которые выявили микроструктурные особенности оперения представленных в ней особей. Репрезентативная выборка состояла из 4060 строк с

числовыми значениями шести признаков. При сегментации ОВ на отряды максимальную информативность обнаружили признаки P2 и P6 (табл. 1); эти признаки, кроме того, оказались слабо коррелированы.

На основании данных ОВ была произведена кластеризация по отрядам (рис. 2). Все кластеры отрядов довольно компактны; исключение составляют Курообразные, кластер которых сосредоточен и деформирован кластером Голубеобразных. Отряд Ржанкообразных занимает промежуточное положение между отрядом Воробьинообразных и отрядом Гусеобразных. В его кластере прослеживаются контуры двух кластеров подотрядов Чайковых и Ржанковых, что будет продемонстрировано ниже данными по сегментации внутри таксона Ржанкообразных (рис. 3). Отряд Дятлообразных оказался внутри кластера Воробьинообразных, проявив родственную связь с ним. Дискуссии по поводу филогении Дятлообразных ведутся уже в течение многих лет; в основном исследователи принимали во внимание остеологические, морфологические и другие

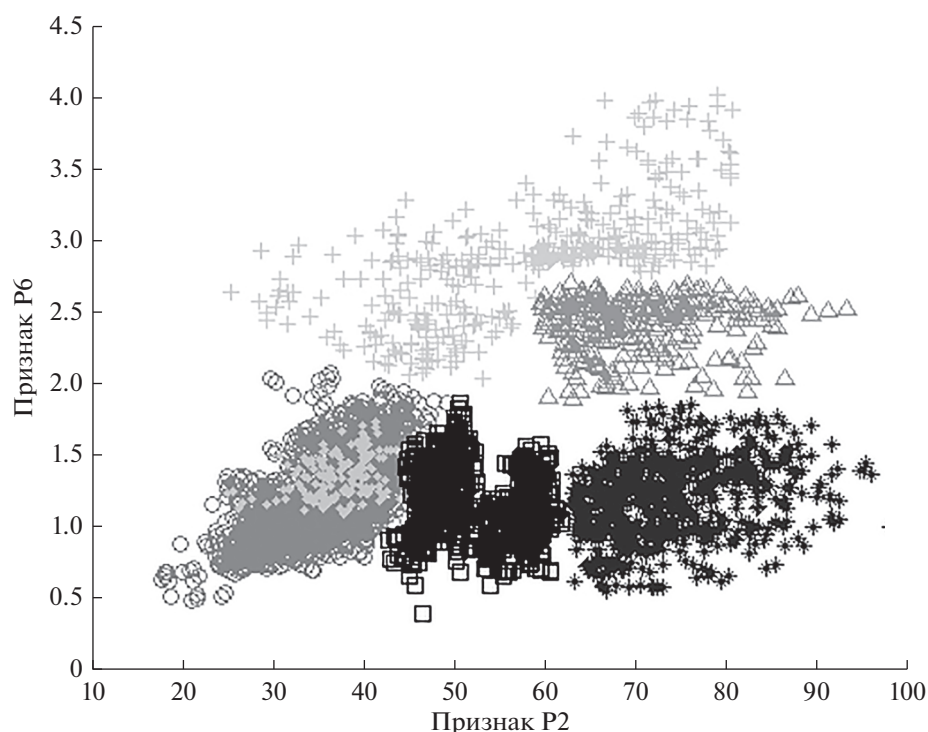


Рис. 2. Визуализация отрядов в пространстве двух некоррелированных информативных признаков P2 и P6. Обозначения: Гусеобразные – *; Курообразные – +; Ржанкообразные – □; Голубеобразные – △; Дятлообразные – ◆; Воробьинообразные – ○.

данные. Перьевые структуры до сих пор играли лишь очень незначительную роль в таксономии, и только в последних работах зарубежных авторов значение морфологических признаков пера возросло (Rijke et al., 2013; Fuller, 2015; Lee et al., 2016; Berglund, Rosvold, 2021). Данные литературы показывают значительное сходство перьевых структур представителей Воробьинообразных и Дятлообразных (Lowe, 1946; Brom, 1991). Диагностическими признаками послужили микроструктуры пухового луча покровных контурных перьев, а именно наличие и форма ворсинок, форма узловых структур, пигментация лучей и др. Результаты этих исследований значительно ослабили гипотезу о монофилии Дятлообразных.

Анализ результатов оценки информативности признаков при сегментации ОВ на семейства внутри отряда Ржанкообразных показал, что в данном случае наибольшей информативностью обладают признаки P1 и P2 (табл. 1, рис. 1, 3). Все шесть семейств достаточно компактны, за исключением Бекасовых, данные которых значительно разбросаны по признаку P1. Удается также увидеть обособленность подотрядов Куликов *Charadrii*, Чайковых и Чистиковых, а семейство Поморниковых хорошо отделилось от Чайковых, хотя кластеры не выглядят четко очерченными. Подотряд Чистиковых, представленный в ОВ родом *Cyclorhynchus* Каур, 1829, группируется в одном

кластере рядом с семейством Чайковых, однако это может быть связано с тем фактом, что подотряд Чистиковых представлен всего одним родом.

Таким образом, в пространстве двух наиболее информативных признаков P2 и P6 в результате кластеризации мы получили визуализацию данных по дифференциации отрядов. Сегментация по отрядам показала хорошее разбиение их на кластеры (рис. 2).

Метод сопоставления макро- и микроструктур эталонного пера с таковыми тестируемого и с экстраполяцией

После проведения морфометрии полученные для изучения перья и/или их фрагменты сопоставляют с коллекционными образцами предполагаемого вида. Сопоставление проводится как с тушками, так и с перьевыми эталонными коллекциями. При наличии только фрагмента пера можно применять метод структурной экстраполяции.

На рис. 4 показано совмещение пера из перьевого биоматериала с эталонным пером грача *Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758; в результате определен вид (грач) и птерилия (первостепенное маховое перо).

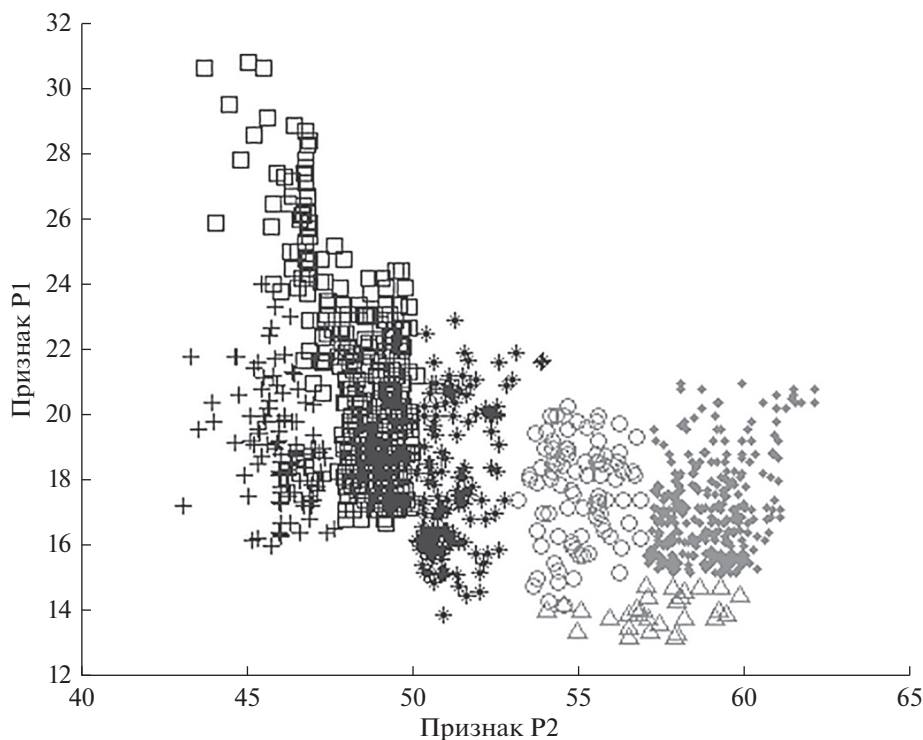


Рис. 3. Визуализация семейств отряда Ржанкообразных в пространстве информативных признаков P1 и P2. Обозначения: Ржанковые – *; Бекасовые – □; Тиркушковы – +; Поморниковы – ○; Чайковые – ◇; Чистиковы – △.

На рис. 5 представлены результаты совмещения микроструктур пуховых лучей тестируемого пера и эталонного пера гуменника *Anser fabalis*. Сходство оценили по нескольким признакам: 1) форма и размер типичных узлов на пуховых лучах; 2) количество типичных и редуцированных узлов на одном луче; 3) наличие изгибов междоузлий.

Эти структурные методы позволили за короткое время без использования молекулярно-генетического анализа обработать большие массивы данных из совместной базы по столкновениям Росавиации и ИПЭЭ РАН. Из 104 инцидентов с ВС в 85% случаев был определен вид, в 7% – семейство, в 7% – два близкородственных вида, лишь в 1% случаев таксон определить не удалось. Структурный метод идентификации вида вошел в комплексный анализ определения вида наряду с молекулярно-генетическим и эколого-географическим.

Поиск диагностических признаков еще далек от завершения. Многие элементы пуховых лучей пока остаются за пределами СДП: очень мало исследованы бородки как контурные, так и пуховые (Fuller, 2015), а также элементы контурных лучей, например, флексулы (Brom, Visser, 1989; Brom, 1991), недостаточно изучены стержневые лучи (Силаева и др., 2013; Lucas, Stettenheim, 1972; Dove, 1999). Ворсинки, например, мы используем пока только как показатели таксонов высшего

ранга и констатируем их наличие, но не можем привлечь данные об их количестве на луче, о конфигурации и расположении на бородке, луче, птерилии. В будущем в качестве еще одного признака можно было бы использовать узловые зубцы, однако пока еще не выработан критерий их оценки. Необходима дальнейшая работа как с уже имеющимися компонентами системы, так и с привлечением новых для понимания того, в какой степени они могут быть полезны для идентификации таксона и в качестве филогенетических признаков.

Несколько примеров экспертиз, выполненных в ЛЭУПП

1) По микроструктурным признакам, выявленным на основе морфологического, морфометрического и эколого-географического анализов перьевого материала проведены экспертизы перьевых остатков из древних отложений для Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, где проводятся исследования систем жизнеобеспечения древнего человека. По найденным в древних отложениях фрагментам пуховых и контурных бородок в ЛЭУПП ИПЭЭ РАН определены таксоны птиц до уровня отряда и вида. Пуховые лучи пера, собранные с фрагментов керамического сосуда,

Таблица 2. Количественные микроструктурные признаки пуха обыкновенной гаги и белошекой казарки

Признак	Пуховая структура			
	эталонный пух обыкновенной гаги	тестируемый пух	эталонный пух белошекой казарки	тестируемый пух
Длина бородки, мм	21	20	30	29
Количество типичных узлов треугольной формы на пуховых лучах, шт.	3–4	3–4	4–6	4–6
Длина пухового луча, мкм	850	960	2274	2215

принадлежавшего носителям зайсановской культурной традиции Приморья (памятник Клерк-5, палеолагуна 4600–4500 лет назад), являются гнездовым пухом разных видов Гусеобразных, в частности, серого гуся *Anser anser* Linnaeus, 1758 (Пантюхина, Вострецов, 2021).

2) Обнаруженные в древних отложениях (40–26 тыс. лет назад) в Молдове (памятник Брынзе-

ны 1, стоянка Костенки 14) фрагменты пуховых и контурных лучей принадлежат крупным Воробьинообразным птицам, а именно Врановым: по степени вероятности одному из четырех видов: ворон *Corvus corax* Linnaeus, 1758, большеклювая ворона *C. macrorhynchos* Wagler, 1827, грач *C. frugilegus* Linnaeus, 1758 или европейская черная ворона *C. corone* Linnaeus, 1758.

3) Для Автономной некоммерческой организации “Центр по проведению судебных экспертиз и исследований” (АНО “Судебный эксперт”) с целью определения вида птицы проведена сопоставительная биологическая экспертиза перьевого материала двух видов Гусеобразных. По микро- и макроструктурным признакам гнездового пуха с помощью макро- и микроморфометрии установлена видовая принадлежность обыкновенной гаге *Somateria mollissima* Linnaeus, 1758 и белошекой казарке *Branta leucopsis* Bechstein, 1803. Выявленные качественные и количественные макро- и микроструктурные диагностические признаки пуха обоих видов позволили с уверенностью отделить пух одного вида от другого (табл. 2).

Обыкновенная гага. Пуховая структура состоит из бородок бурого цвета, выходящих из короткого стержня; базальные участки бородок в месте выхода из стержня светлые. Бородки короткие.

Белошекая казарка. Пуховые структуры светлые. Базальные концы бородок, выходящих из короткого стержня, в месте выхода почти белые. Бородки очень длинные. Микроструктурные признаки исследуемых видов также отличаются друг от друга (табл. 2).

АЭРОДРОМНАЯ ЭКОЛОГИЯ² И ЭКСПЕРТИЗА ПЕРЬЕВ

Основная задача аэродромной экологии как научно-технического направления состоит в регулировании сложных динамических отношений между человеком, техникой и представителями

² Аэродромная экология – это направление исследований, исходящих из представления, что каждый аэродром является собой биотехнико-социоценоз, характеризующийся определенным набором экологических условий.



Рис. 4. Сопоставление экстраполированного контура тестируемого пера (а) с эталонным маховым пером грача *Corvus frugilegus* (б); фото; масштаб 1 см.

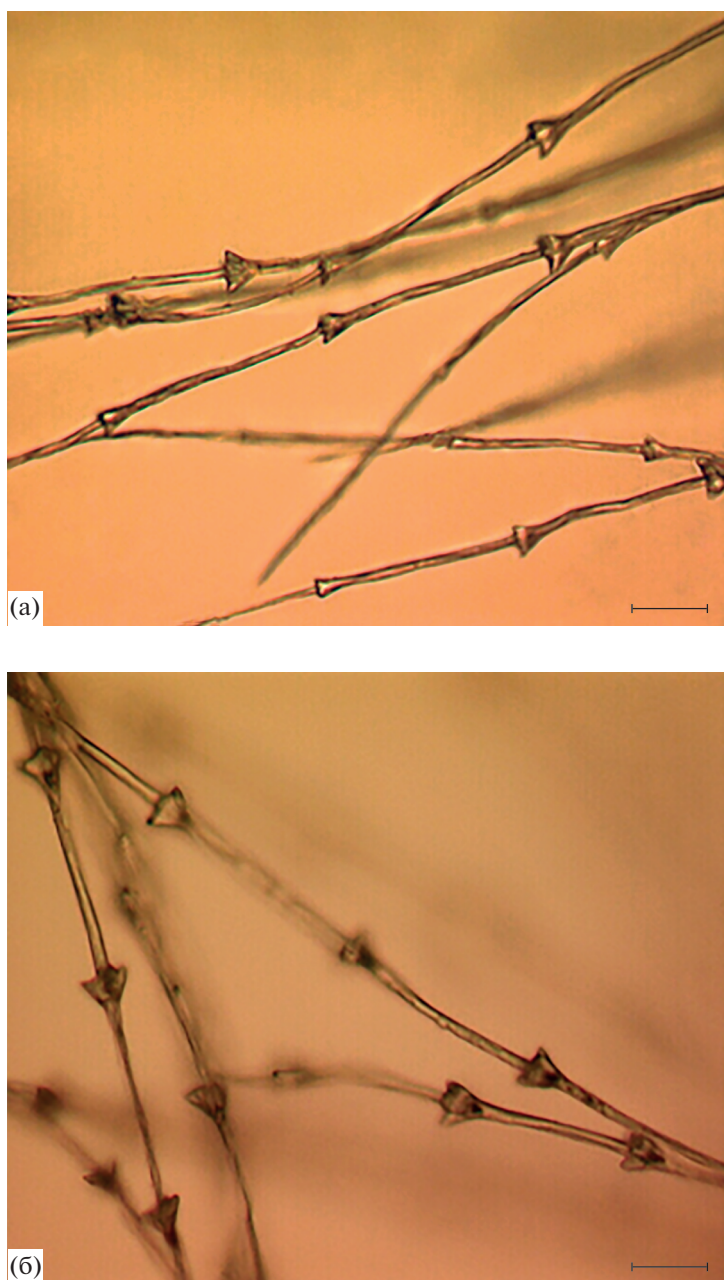


Рис. 5. Сопоставление микроструктурных элементов пуховых лучей эталонного покровного пера гуменника *Anser fabalis* (а) и тестируемого пера (б); микрофото; масштаб 10 мкм.

живой природы в социо-био-экоценозе аэродрома. Аэропорт— это своеобразный стихийный заповедник, удовлетворяющий многим жизненным потребностям птиц и других животных. Более теплая и более освещенная, по сравнению с окружающей средой, взлетно-посадочная полоса предоставляет особенно хорошие возможности для кормежки беспозвоночными; отличный обзор позволяет не стать жертвой хищников. Незначительность или отсутствие беспокойства со стороны людей, наличие мест для гнездования и от-

дыха привлекают как оседлых, так и пролетных птиц. Часто вблизи аэропорта располагаются и другие привлекательные для птиц объекты — сельскохозяйственные поля с зерновыми культурами, водные угодья, свинарники, зверофермы, рыбозаводы, элеваторы, мясокомбинаты и т.п. Очень опасны свалки твердых бытовых отходов, на которых могут кормиться тысячные стаи чаек и Врановых. Маршруты суточных перемещений птиц могут пересекать взлетно-посадочные полосы, и тогда столкновений с ВС не избежать.

Возрастающее количество инцидентов с птицами вызывает озабоченность руководства Минтранса и Росавиации (<https://gulaws.ru/acts/Pismo-Rosaviatsii-ot-29.06.2016-N-AN1.02-2302/>). Определение таксона птицы, участвовавшей в столкновении с ВС, очень важно, поскольку для каждого вида животного как биологического объекта характерно видоспецифическое поведение во взаимоотношениях со средой, которому должны соответствовать средства и методы управления поведением данного вида. Кроме того, необходимо учитывать информацию о массе птицы, которая играет немаловажную роль в столкновении, от нее зависит тяжесть последствий авиационного инцидента. Однако мелкие птицы и летучие мыши могут также причинить значительный вред.

Благодаря нашим идентификационным исследованиям (совместная база данных с ПАО “Аэрофлот”) стали известны следующие факты. Например, в результате столкновения с малым зуйком *Charadrius dubius* Scopoli, 1786 массой в 30–50 г (категория А³) лопатки одного из двигателей ВС были настолько повреждены, что пришлось менять двигатель. Крупная летучая мышь массой 18–40 г, летающая со скоростью около 40–50 км в час, сильно повредила обтекатель радиолокатора ВС. И в этом случае также потребовался дорогостоящий ремонт.

Без определения вида птицы невозможно выработать общую стратегию защиты ВС и определить риски. Соответственно, не будет прямого пути к минимизации столкновений ВС с птицами, а значит, и не удастся достичь конечного результата — сбережения жизни людей и сохранности дорогостоящей авиационной техники.

Необходимо иметь в виду, что не все виды птиц, встречающиеся на аэродромах и в его окрестностях, одинаково опасны для полетов авиации. Кроме того, столкновения происходят не только с фоновыми видами, но и с редкими и уязвимыми. Приоритетное значение во всех работах по минимизации столкновений должно придаваться экологическим методам и управлению поведением птиц, которое подразумевает отвлечение опасных для авиации видов от аэродрома, побуждение их искать другие места для пребывания, но не элиминацию. Птицы — это звено в цепи биоразнообразия орнитофауны страны и ценный биологический ресурс. Большое значение в связи с этим приобретает разработка вероятностных и статистических моделей столкновений с птицами и использование их в практике

аэродромной экологии (Ильичёв и др., 1995; Защита самолетов..., 2007).

В США и странах Европы публикуются идентификационные системы по микроструктурным данным перьевого материала разных видов птиц, которыми могут воспользоваться специалисты в области морфологии пера (Brom, Visser, 1989; Brom, 1991; Prast et al., 1992, 1996, 1998; Shamoun, Yom-Tov, 1996; Yildiz et al., 2009; Lee et al., 2016; D’Alba et al., 2017; Pap et al., 2020). Все остатки биологического происхождения направляются на исследование, которым занимаются профессиональные эксперты. В США, например, в Смитсоновском институте в Вашингтоне определяют остатки птиц после каждого столкновения с ВС. Устанавливают вид столкнувшейся с ВС птицы даже в том случае, если никаких повреждений самолета не было (Reporting..., 2013). Для каждого штата США имеются подробные списки видов птиц, опасных для ВС.

Аналогичная система создается в России. До 2002 г. в России был очень небольшой опыт проведения орнитологических экспертиз (Якоби, 1974; Кошелев и др., 1988; Пыичев et al., 1999). С 2002 по 2014 гг. в результате проведения исследований для аэропортов и авиакомпаний он несколько расширился.

Ситуация изменилась после заключения договора ИПЭЭ РАН с ПАО “Аэрофлот” в 2014 г., идентификационные исследования приобрели системный характер. Содержанием договора стали экспертные исследования вида птицы после столкновения с ВС. С 2015 по 2019 гг. проведено 42 официальных экспертизы по идентификации вида после столкновения ВС с птицами в России и за рубежом (по маршрутам рейсов самолетов ПАО “Аэрофлот”). Эти экспертизы составили ядро уникальной геоинформационной системы безопасности полетов авиации (ГИС БП). Был проведен анализ ГИС БП, рассмотрены причины и факторы, которые привели к появлению особи того или иного вида на аэродроме, даны краткие рекомендации по минимизации столкновений ВС с птицами на конкретных аэродромах. Обнаружено, что большинство столкновений происходит с представителями семейств Ржанкообразных (преимущественно с чайками), Соколообразных Falconiformes и Стрижеобразных Apodiformes. Отмечено, что более 90% столкновений происходит на территории аэропорта или в его окрестностях; при взлете в 1.5 раза чаще, чем при посадке; наибольшее число столкновений приходится на весенне-летнее время и на светлое время суток; от столкновений с птицами страдают преимущественно двигатель, носовая часть и фюзеляж ВС (Силаева и др., 2020).

Идентификационная экспертиза как комплексное исследование включает в себя анализ

³ Весовые категории птиц представлены по рекомендациям Международной организации гражданской авиации: А — масса птицы менее 110 г; В — от 110 до 1810 г; С — от 1810 до 3630 г; D — более 3630 г.

ДНК, а также макро- и микроструктуры группы перьев, одиночного пера или его фрагмента. Исследования структуры пера и ДНК проводят параллельно. Их результаты взаимно дополняют и подтверждают друг друга (Dove et al., 2007). В исследованиях используют также биолого-географический анализ. Он особенно необходим, когда нужно установить географическое место столкновения, что важно для определения ответственности аэропорта за повреждение ВС в результате столкновения.

С 2009 по 2019 гг. было проведено четыре конференции по проблемам авиационной орнитологии, в которых участвовали представители Росавиации и Минобороны РФ. Две научно-технические конференции были организованы сотрудниками ИПЭЭ РАН в 2009 и 2012 гг. (Материалы Первой..., 2009; Материалы Второй..., 2012), две другие “Птицы и полеты авиации” – отраслевой группой “Два крыла” в 2017 и 2019 гг. Целью этих встреч было повышение качества обеспечения орнитологической безопасности полетов, обобщение знаний в области аэродромной экологии, объединение усилий авиационных орнитологов, экологов, сотрудников авиакомпаний и аэропортов, а также других специалистов, работающих в области инженерной и математической экологии, прикладной орнитологии, биомеханики, биоповреждений, аэродинамики и теории полета птиц.

В настоящее время мы собираем данные об индивидуальных эколого-географических условиях аэропорта, связанных с рисками для полетов авиации, сосредоточиваясь в первую очередь на тех аэродромах и путях следования ВС, где происходит наибольшее число столкновений, выявляя проблемные аэродромы с точки зрения биоповреждений птицами и другими животными, и осуществляем паспортизацию аэропорта. Паспорт аэропорта – это описание уникальных взаимоотношений между техническими, биологическими, социальными, географическими и климатическими факторами. Также в паспорт должны быть включены: информация по видам, представляющим наибольшую опасность для полетов авиации в данном аэропорту; сведения о величине популяции вида, стайности, миграционной активности, способности избежать столкновения с ВС, характере и времени пребывания этих видов; общие статистические данные о времени и факторах, с которыми связано наибольшее число столкновений – сезон, время суток, высота и фаза полета. На основе такого паспорта предполагается не только определять параметры биоповреждающих рисков, но и разрабатывать системные тактические и стратегические эколого-технические меры по обустройству территории аэродрома таким образом, чтобы она стала непривлекательной для птиц и других животных.

15 февраля 2020 г. между Росавиацией и ИПЭЭ РАН подписано Соглашение о сотрудничестве, и, в частности, начата совместная обработка базы данных по столкновениям ВС с птицами, включающей в среднем около тысячи сообщений о столкновениях (угрозах столкновений) в год. Начат проект по физико-географическому и климатическому районированию. Цель проекта – понять какие виды, в какие сезоны наиболее опасны в районах и на территориях аэропортов с наибольшим числом столкновений с птицами. Для этого все такие аэропорты будут сгруппированы в зависимости от физико-географического и климатического районирования. Пространственно-типологическая классификация ареалов будет проведена в соответствии с орнитогеографическими и фаунистическими исследованиями (Орнитогеография..., 2009). Таким образом, будет выявлена орнитологическая специфика каждого проблемного аэропорта. Это будет сделано как на общерегиональной основе, так и в зависимости от ландшафтно-биотопических характеристик конкретного аэропорта. На основе этих базовых данных, а также результатов эколого-орнитологического обследования будут даваться рекомендации по мерам предупреждения столкновений с птицами для аэропортов с критической ситуацией по орнитологической безопасности полетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностика таксона птицы по структуре пера перспективна и актуальна, что подтверждают наши оригинальные работы в этом направлении. ЛЭУПП ИПЭЭ РАН – пока единственная лаборатория в России, сотрудники которой проводят такую идентификацию на основе разработанных адекватных методов. Нами показано, что морфология пера может и должна использоваться в качестве таксономического признака в рамках нового направления неклассической систематики, использующего микро- и макроструктурные данные перьев для идентификации вида и систематики. Изучение изменчивости структуры перьев, в конечном счете, будет способствовать пониманию процессов формообразования. Во всяком случае, появилась возможность и необходимость учитывать структурные признаки пера при анализе совокупности черт, характерных для таксонов разного ранга. Результаты проведенных нами исследований показывают неоправданность игнорирования структурных особенностей перьев птиц в филогенетических и таксономических построениях. При этом остается много вопросов и нерешенных задач. Например, совсем немного известно о конвергентных перьевых структурах у неродственных видов, об адаптациях этих структур к экологическим условиям, о внутривидовой изменчивости перьевых характеристик.

Следует также отметить социальную значимость и многоплановость этих прикладных исследований, поскольку в авиационной орнитологии биоповреждения, вызванные птицами, чрезвычайно опасны, так как могут приводить к тяжелым последствиям, связанным не только с потерей дорогостоящего оборудования, но и с гибелью людей. Стоимость ремонта двигателя после столкновения с птицей может достигать 14 млн рублей и более. Жизнь людей не имеет цены.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем глубокую благодарность руководству и сотрудникам Отдела орнитологии Научно-исследовательского зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова за помощь в сборе материала. Благодарим также Ю.А. Горохову и Ю.А. Богданову за техническое участие в подготовке рукописи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН “51. Экология организмов и сообществ” и “50. 0109-2019-0001. Морфофункциональные адаптации позвоночных”. Экспертиза перьев проведена с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Инструментальные методы в экологии” при ИПЭЭ РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо материалов исследований с участием людей и животных в качестве объектов изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас-определитель видовой принадлежности птиц по их макро- и микроструктурным фрагментам / Ред. А.И. Кошелев. М.: Воениздат, 1995. 110 с.
- Бородулина Т.Л., Формозов А.Н. О сигнальных пятнах оперения птиц и особенностях строения перьев вальдшнепа *Scolopex rusticola* // Рус. орнитол. журн. 2015. Вып. 1239. С. 4622–4626.
- Вараксин А.Н., Куренков Н.И., Лебедев Б.Д. Метод оценки информативности признаков в задачах обработки многомерных данных // Оборон. техн. 2003. № 10. С. 81–84.
- Гаврилов Э.И. Отряд Рябкообразные // Птицы России и сопредельных регионов: Рябкообразные, Голубообразные, Кукушкообразные, Собообразные / Ред. В.Ч. Ильичев, В.Е. Флинт. М.: Наука, 1993. С. 7–46.

Защита самолетов и других объектов от птиц. М.: КМК, 2007. 320 с.

Ильичёв В.Д. Дополнительные опахала в птерилозисе уха птиц, их строение и функция // Докл. АН. 1962. Т. 144. № 5. С. 1185–1188.

Ильичёв В.Д., Бирюков В.Я., Нечваль Н.А. Техничко-экологическая стратегия защиты от биоповреждений. М.: Наука, 1995. 248 с.

Коблик Е.А., Архипов В.Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов. М.: КМК, 2014. 171 с.

Корепова Д.А. Атлас-определитель перьев птиц // Ульяновск: Союз охраны птиц России, 2016. 320 с.

Костина Г.Н., Соколов В.Е., Романенко Е.В. и др. Гидрофобность структур пера пингвинов (*Aves, Sphenisciformes*) // Зоол. журн. 1996. Т. 75. Вып. 2. С. 237–247.

Кошелев А.И., Корзюков А.И., Черничко И.И. Опыт проведения орнитологических экспертиз в случаях столкновений самолетов с птицами // Проблемы биологического повреждения материалов. Экологические аспекты / Ред. В.Д. Ильичёв. М.: ИЭМЭЖ, 1988. С. 35–44.

Материалы Первой всероссийской научно-технической конференции “Проблемы авиационной орнитологии”. М.: ИПЭЭ РАН, 2009. 140 с.

Материалы Второй Всероссийской с международным участием научно-технической конференции “Проблемы авиационной орнитологии”. М.: ИПЭЭ РАН, 2012. 100 с.

Пантюхина И.Е., Вострецов Ю.Е. Археология микроостатков: проблемы и перспективы (на примере исследования керамики ранних земледельцев из поселения Клерк-5) // Мат. X Крушановских чтений. 2021, в печати.

Орнитогеография Палеарктики: современные проблемы и перспективы / Ред. Ю.С. Равкин, Г.С. Джамирзоева, С.А. Букреева. Махачкала: ДГПУ, 2009. 262 с.

Силаева О.Л. Определение таксономической принадлежности птицы по одиночным перьям и их останкам // Успехи совр. биол. 2008. № 2. С. 208–222.

Силаева О.Л. Функциональное значение дополнительного пера в оперении птицы // В мире науч. отк. 2011а. № 4 (16). С. 268–278.

Силаева О.Л. Роль дополнительного пера в системе оперения птицы // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 13. Ч. 1. / Ред. Н.А. Черных. М.: РУДН, 2011б. С. 191–196.

Силаева О.Л. Система диагностических признаков кровных перьев птиц отряда Ржанкообразных // Изв. РАН. Сер. биол. 2019. № 6. С. 614–624.

Силаева О.Л., Гуменюк Г.В. Особенности структуры пера некоторых Врановых видов птиц // Вестн. МОАЭБП. 2008. Вып. 5 (12). С. 133–140.

Силаева О.Л., Гуменюк Г.В., Ильичёв В.Д. Новые данные о структуре пера врановых // Мат. II Междунар. телеконф. “Фундаментальные науки и практика”. 2010. Т. 1. № 3. С. 71–73.

Силаева О.Л., Ильичёв В.Д., Чернова О.Ф. Определитель птиц по перу и его фрагментам. Отряд Воробьино-

- образные (Passeriformes). Семейство Врановые (Corvidae). Berlin: LAP, 2011. 306 с.
- Силаева О.Л., Ильичёв В.Д., Чернова О.Ф., Вараксин А.Н. Определитель птиц по перу и его фрагментам. Отряды: Курообразные (Galliformes), Голубеобразные (Columbiformes), Рябкообразные (Pterocletiformes). М.: ИПЭЭ, 2013. 120 с. + CD-ROM.
- Силаева О.Л., Чернова О.Ф., Вараксин А.Н. Определитель птиц по перу и его фрагментам. Отряд Гусеобразные (Anseriformes). М.: ИПЭЭ, 2015. 269 с. + CD-ROM.
- Силаева О.Л., Чернова О.Ф., Букреев С.А., Вараксин А.Н. Определитель птиц по перу и его фрагментам. Отряд Ржанкообразные (Charadriiformes). М.: КМК, 2018. 385 с.
- Силаева О.Л., Холодова М.В., Свиридова Т.В. и др. Исследования столкновений воздушных судов с птицами по данным экспертиз 2002–2019 гг. // Изв. РАН. Сер. биол. 2020. № 6. С. 636–645.
- Чернова О.Ф., Фадеева Е.О. Своеобразная архитектура перьев эму (*Dromaeus novaehollandiae*) // Докл. АН. 2009. Т. 425. № 5. С. 713–717.
- Чернова О.Ф., Коблик Е.А. Древненёбные птицы // Очерки филогении, систематики, биологии, морфологии и хозяйственного использования / Ред. О.Ф. Чернова, Е.А. Коблик. М.: КМК, 2010. 212 с.
- Якоби В.Э. Биологические основы предотвращения столкновений самолетов с птицами. М.: Наука, 1974. 166 с.
- Atlas of feathers for Western Palearctic birds [electronic resource, URL: <https://www.nhbs.com/3/series/atlas-of-feathers-for-western-palearctic-birds>]. Date of request 13.05.2021.
- Berglund B., Rosvold J. Microscopic identification of feathers from 7th century boat burials at Valsgarde in Central Sweden: specialized long-distance feather trade or local bird use? // J. Archaeol. Sci. 2021. V. 36. P. e102828.
- Bergmann H.-H. Vogelfedern an Nord- und Ostsee. Finden und Bestimmen. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag, 2010. 157 S.
- Bergmann H.-H. Vogelfedern an Flüssen und Seen. Finden und Bestimmen. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag, 2012. 201 S.
- Bergmann H.-H. Die Federn der Vögel Mitteleuropas: ein Handbuch zur Bestimmung der wichtigsten Arten. Wiebelsheim: Aula-Verlag, 2015. 632 S.
- Brom T.G. Microscopic identification of feathers and feather fragments of Palearctic birds // Bijdragen tot de Dierkunde. 1986. Bd. 56. S. 181–204.
- Brom T.G. The diagnostic and phylogenetic significance of feather structures // Publ. PhD. Thesis. Univ. Amsterdam. 1991. 279 p.
- Brom T.G., Visser H. The phylogenetic significance of the feather character “flexules” // Neth. J. Zool. 1989. V. 39. P. 226–245.
- Chandler A.C. A study of the structure of feathers with reference to their taxonomic significance // Univ. Calif. Publ. 1916. V. 13. P. 243–446.
- D’Alba L., Carlsen T.H., Asgeirsson Á. et al. Contributions of feather microstructure to eider down insulation properties // J. Avian Biol. 2017. V. 48. P. 1150–1157.
- Dove C.J. Feather identification and a new electronic system for reporting us air force bird strikes / First Joint Annual Meeting. Vancouver, BC: Bird Strike Committee-USA/Canada, 1999. P. 1–7.
- Dove C.J., Agreda A. Differences in plumulaceous feather characters of dabbling and diving ducks // Condor. 2007. V. 109. P. 192–199.
- Dove C.J., Koch S. Microscopy of feathers: a practical guide for forensic feather identification // JASTEE. 2010. V. 1. Iss. 1. P. 15–61.
- Dove C.J., Hare P.G., Heacker M. Identification of ancient feather fragments found in melting Alpine ice patches in Southern Yukon // Arctic. 2005. V. 58. № 1. P. 38–43.
- Dove C.J., Rotzel N.C., Heacker M., Weigt L.A. Using DNA barcodes to identify bird species involved in birdstrikes // J. Wildlife Manag. 2007. V. 72. P. 1231–1236.
- Fadeeva E.O. Features of the architectonics of the microstructure of the primary remex of Owls (Strigiformes) due to the specifics of the flight // Proc. Nat. Acad. of Belarus. Biol. Ser. 2021. V. 66. № 2. P. 232–246.
- Fuller M.E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry (Ph.D. dissertation). University of Leeds, 2015. 253 p.
- Hansen W., Synnatzschke J. Bestimmungsbuch für Rumpfungen und Mauserfedern. Teil 1 (15): Vögelarten mit Steuerfedern von 135–154 mm Länge. Teil 1 (16): Vögelarten mit Steuerfedern von 155–177 mm Länge // Beitr. Naturkd. Niedersachsens. 1998. Bd. 51. S. 1–130.
- Hansen W., Synnatzschke J. Die Steuerfedern der Vogel Mitteleuropas. The Tail Feathers of the Birds of Central Europe. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. 828 S.
- Ilyichev V.D., Nechval N.A., Birjukov V.Y. A general statistical approach to identification of bird remains after collision between aircraft and birds // Proc. 20 Meet. BSCE. Helsinki, 1999. P. 169–178.
- Joubert C.S.W., Maclean G.L. The structure of the waterholding feathers of the Namaqua Sandgrouse // Zool. Afr. 1973. V. 8. № 2. P. 141–152.
- Koch U.R., Wagner H. Morphometry of auricular feathers of Barn Owls (*Tyto alba*) // Eur. J. Morphol. 2002. V. 40. P. 15–21.
- Lee J.S., Sarre D., Joseph L., Robertson J. Microscopic characteristics of the plumulaceous feathers of Australian birds: a preliminary analysis of taxonomic discrimination for forensic purposes // Austral. J. Forensic Sci. 2016. V. 48. № 4. P. 421–444.
- Lowe P.R. On the systematic position of the woodpeckers (Picci), honey-guides (Indicator), hoopoes and others // Ibis. 1946. V. 88. P. 103–127.
- Lucas A.M., Stettenheim P.R. Avian anatomy. Integument. Pt 2. Washington: US Dept. Agricult., 1972. 750 p.
- Miller W. DeW. Variations in the structure of the aftershaft and their taxonomic value // Amer. Mus. Novitates. 1924. V. 140. P. 1–7.
- Pap P.L., Osvath G., Daubner T. et al. Down feather morphology reflects adaptation to habitat and thermal conditions across the avian phylogeny // Evolution. 2020. V. 74 (10). P. 2365–2376.

- Perremans K.* Diversity of featherprints in the Charadriiformes and Anseriformes // Bird Strike Committee Europe 21, WP22. Jerusalem, 1992. P. 199–212.
- Prast W., Roselaar C.S., Schalk P.H., Wattel J.* A computer based bird remains identification system // Proc. 22-nd Meeting Bird Strike Comm. Europe (Vienna, 2 september 1992). 1992. P. 523–525.
- Prast W., Shamoun J., Bierhuizen B. et al.* BRIS: a computer based bird remains identification system. Further developments // Birds of Europe. Amsterdam: ETI, 1996. CD-ROM.
- Prast W., Blok M., Roselaar C.S., Schalk P.H.* Digital feathers. Extension of BRIS with macroscopic feather characters // Inter. Bird Strike Comm. 1998. V. 24. P. 125–131.
- Reporting Wildlife Aircraft Strikes AC 150/5200-32B / Federal Aviation Administration, 2013. [electronic resource, URL: https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/150_5200-32]. Date of request 17.05.2021.
- Rijke A.M., Jesser W.A., Schaal St.F.K.* Can the substructure of fossil feathers provide taxonomic information? // J. Ornithol. 2013. V. 154. P. 663–670.
- Ruxton G., Persons W.S., Currie Ph.J.* A continued role for signaling functions in the early evolution of feathers // Evolution. 2017. V. 71. P. 797–799.
- Shamoun-Baranes J.* Bird remains identification system (BRIS) – from a bi-national to a global database. 2021.
- Shamoun J., Yom-Tov Y.* Five years of feather identification for the Israeli Air Force // Proc. 23rd Meeting Bird Strike Comm. Europe (London, 13–17 May 1996). 1996. P. 189–195.
- Stettenheim R.R.* Structural adaptations in feathers // Proc. 16th Int. Ornithol. Cong. (Canberra, 12–17 august 1974). Canberra: Aust. Acad. Sci., 1976. P. 385–401.
- Stettenheim R.R.* The integumentary morphology of modern birds – an overview // Am. Zool. 2000. V. 40. № 4. P. 461–477.
- Weger M., Wagner H.* Distribution of the characteristics of barbs and barbules on barn owl wing features // J. Anat. 2017. V. 230. P. 734–742.
- Wolf B., Walsberg G.E.* The role of the plumage in heat transfer processes of birds // Integr. Comp. Biol. 2000. V. 40. № 4. P. 575–584.
- Yan X., Wang Y.* A feather and down category recognition system based on GA and SVM // Proc. Int. Conf. on Educ. Tech. and Comp. (Singapore, 17–20 April 2009). Washington: IEEE Computer Society, 2009. P. 128–132.
- Yildiz D., Bozkurt E.U., Akturks S.H.* determination of goose feather morphology by using SEM // J. Anim. Veterin. Adv. 2009. № 8 (12). P. 2650–2654.
- Ziswiler V.* Die Afterfeder der Vögel. Untersuchungen zur Morphogenese und Phylogenese des sogenannten Afterschaftes // Zool. Jahrb. Abt. Anat. 1962. Bd. 80. S. 245–308.

The Current State of Identification Ptilology in Russia

O. L. Silaeva^{a, *} and O. F. Chernova^{a, **}

^a*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia*

**e-mail: sevinbirdstrike@yandex.ru*

***e-mail: chernova@sevin.ru*

The review article is devoted to topical applied and fundamental issues of ptilology – the science of bird feather cover, in particular, the problem of identifying birds by whole feathers and their microscopic remains. Identificational ptilology is developing in close cooperation with aviation ornithology. The article considers, respectively, the influence of identificational ptilology on aviation ornithology, the development of applied, organizational and strategic issues of the latter. The article contains an analysis of foreign and domestic literature of both directions. A system of diagnostic features of a single feather has been developed, several new feather elements have been described, and information on known feather structures has been supplemented. Using mathematical methods (clustering based on morphometric data of feather microstructural compartments), the phylogenetic relationships between higher and middle rank taxa were determined. Specific examples of taxonomic identification of feathers by micro- and macrostructure are given, and the role of some features of the microscopic structure of feathers for examination and phylogenetic constructions is determined. The role of bird collections and bird identification systems based on macro – and microstructure of feathers for identification studies of feather material is determined. The applied and scientific ways of solving the problems of airfield ecology, namely, the protection of aircraft from biological damages caused by birds, are considered. The need to identify species involved in collisions with aircraft is noted. A project on physical, geographical and climatic zoning was started. The aim of the project is to identify the most dangerous bird species for aviation flights in the areas and territories of airports in different seasons of the year. Complex systems of bird species identification based on feather remains have been developed for aviation ornithology, which includes analysis of feather structure material, ecological-geographical and molecular genetic analyses. The method allows processing large data sets exclusively on the structure of feathers groups, a single feather or its fragments.

Keywords: aviation ornithology, identifying feather remains, feather microstructure, ptilology