

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПЕРВОСТЕПЕННОГО МАХОВОГО ПЕРА ОРЛАНА-БЕЛОХВОСТА

Е.О. Фадеева¹, В.Г. Бабенко²

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (Россия)

alekto@aha.ru

²Московский педагогический государственный университет (Россия)

alekto@aha.ru

The primaries' microstructure features of the White-tailed Eagle. – Fadееva E.O., Babenko V.G. – Electron microscopic investigation of the White-tailed Eagle primaries microstructure was conducted, using a scanning electron microscope. The presented original research results suggest that the White-tailed Eagle, along with the taxonomically important microstructural patterns, has a number of species-specific compartments as ecological and morphological adaptations of compensatory type strengthening the aerodynamic effect of the White-tailed Eagle wing.

В настоящем исследовании проведен качественный анализ микроструктуры первостепенного махового пера орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*) с целью выявления основных видоспецифических характеристик архитектоники пера, а также ряда элементов, возможно имеющих адаптивный характер.

Орлан-белохвост является представителем подсемейства Buteoninae, входящего в состав Ястребиных (Accipitridae) – центрального семейства подотряда Соколиных (Falcones), эволюционировавшего путем широкой адаптивной радиации.

Закономерный интерес вызывает комплекс прямых морфологических адаптаций Accipitridae, основной универсальный прием охоты которых включает поисковый бреющий полет — они способны подолгу парить в восходящих потоках теплого воздуха — и последующее высокоманевренное преследование. Основное внимание при рассмотрении данного вопроса уделяется строению крыльев Accipitridae — широких и длинных, с закругленной вершиной и «пальцеобразными» окончаниями первостепенных маховых. Широко известны и общепризнаны следующие характеристики. Самый длинный элемент крыла – предплечье; иногда почти такую же длину имеет кисть. Первостепенных маховых

обычно 10; у части видов есть скрытый кроющими рудимент первого махового. Крыло диастатакическое (аквинтокубитальное): между 4-м и 5-м второстепенными маховыми располагаются добавочные верхние и нижние кроющие. На первостепенных маховых перьях имеются вырезки, помогающие маневрировать в полете.

На фоне исчерпывающего описания основных аэродинамически выгодных макроморфологических структур крыла Accipitridae, практически неисследованным остается строение основных элементов микроструктуры первостепенного махового пера – важнейшего функционального элемента крыла птиц.

Материал и методы

Материалом для работы послужило 3-е первостепенное маховое перо орлана-белохвоста, любезно предоставленное А.Б. Кузьминым (Зоологический музей МГУ) из личного орнитологического коллекционного фонда.

Для проведения сравнительного электронно-микроскопического анализа использовали наиболее информативные фрагменты пера — бородки первого порядка (далее бородки I) и бородки второго порядка (далее бородки II) контурной части опахала первостепенного махового пера.

Препараты бородок были приготовлены стандартным, многократно апробированным методом [4]. Подготовленные препараты напыляли золотом методом ионного напыления на установке Edwards S-150A (Великобритания), просматривали и фотографировали с применением SEM JEOL-840A (Япония), при ускоряющем напряжении 10 кВ.

В целом, изготовлено 29 препаратов бородок контурной части опахала первостепенного махового пера орлана-белохвоста, на основании которых сделано и проанализировано 194 электроннограммы.

В настоящем исследовании за основу описания микроструктуры контурной части опахала первостепенного махового пера орлана-белохвоста были взяты следующие качественные показатели: конфигурация поперечного среза бородки I; строение сердцевины на поперечном и продольном срезах бородки I; рельеф кутикулярной поверхности бородки I; строение бородок II дистального отдела опахальца (далее дистальные бородки II): конфигурация свободных

отделов ороговевших кутикулярных клеток дистальных бородок II, формирующих дорсальную поверхность опахала.

На уровне SEM доказаны возможности применения перечисленных качественных паттернов в целях таксономической идентификации видов [1–6], однако подробных комплексных исследований видоспецифических, возможно имеющих адаптивный характер, особенностей микроструктуры пера орлана-белохвоста на уровне SEM до сих пор не проводилось.

Результаты и обсуждение

Форма поперечного среза. Форма бородки I, которая хорошо различима на поперечном срезе, видоспецифична за счет разнообразия конкретных деталей строения: дорсального и вентрального гребней, уплощенности, изогнутости. У орлана-белохвоста конфигурация поперечного среза бородки I варьирует по направлению от основания бородки — места прикрепления данной бородки к стержню пера (подопахальцевая и последующая базальная части) – к ее вершине (дистальная часть).

Так, поперечный срез в подопахальцевой части имеет удлиненную и достаточно узкую форму за счет сильного уплощения бородки с боковых сторон и значительно удлиненного вентрального гребня; дорсальный гребень слабо выражен, практически отсутствует. В расположении дистального и проксимального выступов отмечена асимметрия. Сердцевина на поперечном срезе подопахальцевой части бородки отсутствует; корковый слой, полностью заполняющий внутреннюю часть бородки, имеет однородную структуру.

В начале базальной части бородки отмечается появление сердцевинки во внутренней структуре; срез приобретает дугообразную форму; более выражена асимметрия в расположении дистального и проксимального выступов.

Форма поперечного среза в последующих участках базальной части бородки I по-прежнему удлиненная и значительно уплощенная с боков. По-прежнему заметно развит вентральный гребень, однако параметры удлиненности несколько изменяются по сравнению с предыдущим участком бородки: увеличивается ширина и уменьшается общая длина среза бородки, более выражен дистальный гребень и увеличивается

асимметрия в расположении дистального и проксимального выступов. Во внутренней структуре бородки начинает заметно преобладать сердцевина, представленная дву- и трехрядной совокупностью уплощенных полиморфных воздухоносных полостей. В каркасе сердцевинных полостей заметны переплетения коротких толстых нитей, отходящих от перфорированных сильно волнистых стенок и редкие вкрапления пигментных гранул.

Параметры поперечного среза медиальной части бородки I заметно изменяются по сравнению с приведенными выше характеристиками базальной части. Общая длина поперечного среза данного участка бородки уменьшается и одновременно увеличивается ширина, вследствие чего поперечный срез медиальной части бородки I приобретает ланцетовидную форму; заметно уменьшается длина вентрального гребня, что отражается на соотношении его длины к общей длине поперечного среза; в каркасе сердцевинных полостей наряду с переплетениями коротких нитей и гранулами пигмента, заметны тонкие нитчатые выросты.

Тенденция изменения конфигурации и параметров удлиненности бородки I на поперечном срезе продолжается также на протяжении всей дистальной части бородки первого порядка. Срез приобретает каплевидную слегка удлиненную форму; вентральный гребень сильно укорочен, дорсальный, напротив, удлиняется; возрастает обилие тонких нитей в каркасе полостей.

Сердцевина на продольном срезе. В направлении к вершине бородки I заметно изменяется структура сердцевинного тяжа: однорядно расположенные полиморфные тонкостенные воздухоносные полости (ячей) в подопахальцевой части, четырехрядно – в базальной, трех- и двурядно – в медиальной и вновь однорядно – в дистальной частях бородки I. Конфигурация сердцевинных полостей также заметно варьирует: от сильно вытянутых вдоль оси бородки и с глубоко складчатыми стенками (базальная и медиальная части бородки) до округлых, со слабо складчатыми стенками (дистальная часть). На всем протяжении бородки I отмечены пигментные гранулы, обилие которых в каркасе полостей заметно возрастает по направлению к вершине бородки. Коровый слой имеет слоистую структуру.

Структура кутикулярной поверхности. Рельеф поверхности кутикулярных клеток дистальной стороны вентрального гребня

базальной части бородки I ворсистый, образованный мелкими, густо расположенными многочисленными кутикулярными выростами, равномерно покрывающими поверхность клеток. Пяти-шестиугольные кутикулярные клетки имеют четкие границы и ориентированы вдоль продольной оси бородки I.

Структура дистальных бородок II. Бородки II дистальной части опахальца, плотно сомкнуты в базальном и медиальном отделах и рыхло расположены в дистальном отделе бородки I.

В структуре дистальных бородок II отчетливо различаются расширенная базальная часть и последующее перышко – токая удлиненная часть дистальной бородки II с комплексом свободных отделов ороговевших кутикулярных клеток: крючки в основании перышка на его нижней (вентральной) стороне, а также дорсальные и вентральные волосовидные реснички на всем протяжении, включая апикальную часть перышка. При этом структура дистальных бородок II претерпевает заметные изменения по направлению от основания бородки I к ее вершине.

Так, в медиальном отделе отмечается окончательное формирование перышка, дорсальные реснички в его основании расширены и представляют собой удлиненные, с зауженными вершинами лопасти (лопастные реснички). По направлению к вершине бородки I перышко становится короче, лопастные реснички постепенно утончаются, все реснички дорсальной стороны постепенно укорачиваются и плотно прилегают к оси перышка, в верхнем отделе бородки I дорсальная сторона относительно короткого перышка полностью лишена ресничек.

Специфика микроструктуры первостепенного махового пера в области вырезки контурной части опахала. Проведенное нами сравнительное исследование микроструктуры разных участков первостепенного махового пера орлана-белохвоста, позволило выявить ряд отличительных характеристик тонкого строения пера в области вырезки контурной части опахала.

Так, на поперечном срезе: в подопахальцевой части бородки I присутствует сердцевина и более развит дистальный гребень; в базальной части срез более удлинен и заужен за счет уплощения бородки с латеральных сторон; в медиальной части четко выражен характерный изгиб вершины вентрального гребня под углом 90° к продольной оси среза; в дистальной части отмечено сильное латеральное уплощение

в центральной части среза; в верхнем участке дистальной части срез приобретает специфический тавровый профиль за счет вентрального гребня – расширенного и уплощенного в дорсо-вентральном направлении.

Сердцевинные полости более округлые, что особенно выражено на продольном срезе бородки I.

Кутикулярная поверхность отличается более округлой формой клеток в основании бородки I, а также практически полным отсутствием выраженных границ между кутикулярными клетками в вышележащих участках бородки.

Бородки II дистальной части опахальца, плотно сомкнуты во всех отделах бородки I; перышко короткое, с четко выраженными утолщенными сегментами; дорсальные лопастные и волосовидные реснички отсутствуют, а свободные отделы ороговевших кутикулярных клеток дистальных бородок II представлены утолщенными, плотно прилегающими зубцами.

Выявленные особенности микроструктуры первостепенного махового пера орлана-белохвоста в области вырезки контурной части опахала пера имеют, возможно, адаптивный характер.

Таким образом, в результате проведенного нами исследования микроструктуры первостепенного махового пера орлана-белохвоста впервые выявлены качественные паттерны, в комплексе своем достаточно информативные с точки зрения таксономической диагностики. Ряд выявленных компартментов тонкого строения контурной части опахала пера, по-видимому, можно рассматривать как эколого-морфологические адаптации компенсаторного типа, сохраняющие принципиальную структуру пера и направленные на усиление общего аэродинамического эффекта крыла.

Литература

1. Фадеева Е.О., 2009. Особенности микроструктуры контурного пера Соколиных (Falconidae) // Биоразнообразие и роль особо охраняемых природных территорий в его сохранении: Мат-лы Междунар. науч. конф., посвященной 15-летию гос. природного парка «Воронинский», (п. Инжавино Тамбовской области, 16–19 сентября 2009 г.). – Тамбов: Изд. дом ТГУ им. Г.Р. Державина. – С. 267–269.
2. Фадеева Е.О., 2011. Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера полярной совы (*Nyctea scandiaca*) // Вестник МГПУ. Серия Естественные науки. – №2. (8). – С. 52–59.

3. Фадеева Е.О., Чернова О.Ф., 2011. Особенности микроструктуры контурного пера врановых (Corvidae) // Известия РАН. Серия Биологическая. – № 4. – С. 436–446.
4. Чернова О.Ф., Ильяшенко В.Ю., Перфилова Т.В., 2006. Архитектоника перьев и ее диагностическое значение: теоретические основы современных методов экспертного исследования (Библиотека судебного эксперта). – М.: Наука. – 98 с.
5. Чернова О.Ф., Перфилова Т.В., Фадеева Е.О., Целикова Т.Н., 2009. Атлас микроструктуры перьев птиц (Библиотека судебного эксперта). – М.: Наука. – 173 с.
6. Чернова О.Ф., Фадеева Е.О., 2009. Возможности диагностики Воробьинообразных птиц по фрагментам перьев // Проблемы авиационной орнитологии: Мат-лы Первой Всероссийской науч.-технич. конф. (Москва, 14–16 сентября 2009 г.). – М.: ИПЭЭ РАН. – С. 108–116.