

---

## Особенности тонкого строения первостепенного махового пера мохноногого и обыкновенного канюка

Е.О. Фадеева

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН  
alekto@aha.ru*

**Features of fine structure of the primary remex of the Rough-legged Buzzard and Common Buzzard. - Fadeeva E.O.** –The article presents original results on the scanning electron microscope comparative investigation of the primary remex fine structure in the Rough-legged Buzzard (*B. lagopus*) and Common Buzzard (*B. buteo*). The conclusion is made that *B. lagopus* and *B. buteo*, along with traditional elements of the contour feathers architectonics, have several species-specific microstructural taxonomically important patterns of the primary remex.

В настоящее время проблема таксономической идентификации перьев и их фрагментов весьма актуальна и востребована в широком спектре направлений биологической экспертизы (в частности, судебно-биологическая экспертиза и авиационная орнитология). На фоне исчерпывающих описаний макроморфологических особенностей оперения практически неизученным остается строение микроструктуры (тонкого строения) перьев птиц. Вместе с тем, именно сравнительное микроструктурное исследование позволяет эффективно диагностировать виды по перьям и их фрагментам [5, 6, 8, 9, 11, 12, 13]. Кроме того, данное исследование выявляет, наряду с традиционными элементами архитектоники пера, комплекс видоспецифических микроструктурных характеристик, отражающих адаптации птиц к условиям обитания (например, усиление аэродинамического эффекта крыла), что позволяет формулировать обоснованные гипотезы о возникновении адаптационных эколого-морфологических особенностей архитектоники пера [1, 3, 4, 7, 10, 14, 15, 16].

### Методы и материалы

Учитывая большой интерес к таксономически важным элементам морфологии перьевого покрова птиц и тонкого строения дефинитивных перьев в частности, на структуру которых возможно влияет комплекс эколого-морфологических адаптаций компенсаторного типа, мы впервые, с применением сканирующего электронного микроскопа (SEM), подробно исследовали особенности микроструктуры контурного пера двух

представителей рода *Buteo* Lacepede, подсемейства Buteoninae, входящего в состав семейства Ястребиные (Accipitridae, Falcones) - мохноногого канюка, зимняка (*Buteo lagopus*) и обыкновенного канюка, сарыча (*Buteo buteo*). В настоящей работе представлены результаты сравнительного электронно-микроскопического исследования тонкого строения дефинитивного контурного пера *B. lagopus* и *B. buteo*, что является продолжением нашего исследования по выявлению основных видоспецифических характеристик архитектоники пера соколообразных [2, 9].

Материалом для работы послужили первостепенные маховые перья, любезно предоставленные А. Б. Савинецким (ИПЭЭ РАН), а также С. Ф. Сапельниковым (Воронежский заповедник) из личных орнитологических коллекционных фондов.

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 и пуховой частей опахала: по 10-15 бородак у одной особи каждого вида. Препараты бородак были приготовлены стандартным, многократно апробированным методом [8].

Подготовленные препараты напыляли золотом методом ионного напыления на установке Edwards S-150A (Великобритания), просматривали и фотографировали с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL-840A (Япония), при ускоряющем напряжении 10 кВ.

В целом, изготовлено 53 препарата бородак опахала первостепенных маховых перьев *B. lagopus* и *B. buteo*, на основании которых сделано и проанализировано 177 электронных микрофотографий.

В настоящем исследовании за основу описания микроструктуры контурной части опахала первостепенного махового пера *B. lagopus* и *B. buteo* 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 бородак II дистального отдела опахальца (далее дистальные бородки II): конфигурация свободных отделов ороговевших кутикулярных клеток дистальных бородак II, формирующих дорсальную поверхность опахала; форма узлов в проксимальном отделе бородак II пуховой части опахала (далее пуховые бородки); характер и степень

расчлененности апикальной части сегментов, форма зубцов и степень отклонения их от основной оси пуховой бородки.

### Результаты и обсуждения

**Форма поперечного среза.** Поперечный срез в основании бородки I (подопальцевая часть) имеет очень узкую удлинённую форму; заметно преобладает вентральный гребень, досальный гребень выражен слабо (*B. lagopus*) или практически отсутствует (*B. buteo*); в расположении дистального и проксимального выступов заметна асимметричность; сердцевина на поперечном срезе подопальцевой части бородки отсутствует; корковый слой, полностью заполняющий внутреннюю часть бородки, имеет однородную структуру.

В начале базальной части бородки отмечается появление однородной сердцевины во внутренней структуре; более выражена асимметрия в расположении дистального и проксимального выступов. В последующих участках базальной части бородки ширина среза несколько увеличивается, по-прежнему уплощенный срез приобретает слегка изогнутую, дугообразную форму, при этом у *B. lagopus* вентральный гребень более изогнут. Во внутренней структуре бородки начинает заметно преобладать сердцевина, представленная одно- и двурядной совокупностью уплощенных полиморфных воздухоносных полостей: полигональных у *B. lagopus* и более сглаженной, овальной формы у *B. buteo*. В каркасе сердцевинных полостей заметны короткие толстые нити. Сплетения длинных тонких нитей, характерные для сердцевинных полостей *B. lagopus*, у *B. buteo* отмечены лишь в отдельных полостях.

Конфигурация и параметры удлиненности поперечного среза вышележащих участков бородки I (медиальная и дистальная части) заметно изменяются по сравнению с приведенными выше характеристиками базальной части: заметно уменьшается длина вентрального гребня, постепенно уменьшается общая длина поперечного среза бородки и одновременно увеличивается ширина, вследствие чего поперечный срез медиальной части бородки I приобретает более округлую, ланцетовидную форму. У *B. lagopus* поперечный срез дистальной части отличается каплевидной формой.

**Серцевина на продольном срезе.** У обоих исследованных нами видов однородная в основании базальной части бородки I структура

сердцевинного тяжа, в последующих участках, в направлении к вершине бородки, приобретает у *B. lagopus* пяти-шестирядное строение, затем – трехрядное (базальная часть) и далее – двурядное (медиальная); у *B. buteo* и в базальной, и в медиальной частях сохраняются трехрядная структура сердцевинны. Конфигурация сердцевинных полостей также различается у исследованных видов. У *B. lagopus* сердцевинный тяж базальной и медиальной частей бородки I представлен сильно вытянутыми вдоль оси бородки сердцевинными полостями с глубоко складчатыми стенками; менее вытянутые полости отмечены в верхнем участке медиальной части бородки I. У *B. buteo* наоборот – сердцевина характеризуется менее вытянутыми полостями и лишь в верхнем участке медиальной части бородки I отмечены сильно вытянутые сердцевинные ячеи.

Кроме того, сердцевину *B. lagopus* на продольном срезе заметно отличает большее обилие тонких нитей в каркасе сердцевинных полостей на всем протяжении бородки I.

**Структура кутикулярной поверхности.** Для сравнительного анализа нами был выбран конкретный участок кутикулярной поверхности – дистальная сторона вентрального гребня базальной части бородки I.

Орнамент рельефа поверхности кутикулярных клеток у *B. lagopus* и *B. buteo* достаточно сходен: у обоих видов рельеф ворсистый, образованный мелкими, густо расположенными многочисленными кутикулярными выростами, равномерно покрывающими поверхность клеток. Границы округлых пяти-шестиугольных кутикулярных клеток хорошо различимы, на поверхности отдельных клеток заметны перинуклеарные области. Далее, по направлению к вершине бородки I, клетки приобретают вытянутую форму, их границы по-прежнему достаточно различимы.

**Структура дистальных боронок II.** У обоих исследованных видов дистальные бородки II сходны в своем строении. В их структуре отчетливо различаются типичные черты, отмеченные и у других исследованных нами видов птиц: расширенная базальная часть и последующая тонкая удлинённая часть дистальной бородки II – перышко – с комплексом свободных отделов ороговевших кутикулярных клеток: крючочки в основании перышка на его нижней (вентральной) стороне, а также дорсальные и вентральные волосовидные реснички на всем протяжении, включая апикальную часть перышка. Вместе с тем, дистальные боронок II у обоих исследованных видов отличаются сильно удлинённым пе-

рышком и в совокупности своей формируют сильно ворсистую дорсальную поверхность опухала, что абсолютно не характерно для изученных нами других представителей Accipitridae и в целом Falcones. Кроме того, выявленная у *B. lagopus* и *B. buteo* особенность структуры дистальной бородки II, достаточно редко встречается и у представителей других таксонов птиц и обнаружена нами лишь у совообразных (Strigiformes) [3], а так же у чернобрюхого рябка (*Pterocles orientalis*, L.1758) и саджи (*Syrhaptus paradoxus*) (сем. Рябковые Pteroclididae, Pterocletiformes).

**Структура пуховых бородок** исследованных нами *B. lagopus* и *B. buteo* сходна и характеризуется узкой удлинённой базальной частью и не расширенными апикальными частями сегментов в составе перышка – междоузлие плавно переходит в узел. В проксимальном отделе пуховых бородок свободный край узла представлен тремя относительно длинными и заостренными зубцами, отклоняющимися в стороны от продольной оси пуховых бородок под углом 30°.

Таким образом, в результате проведенного нами исследования микроструктуры первостепенного махового пера *B. lagopus* и *B. buteo* впервые выявлены качественные паттерны, в комплексе своем достаточно информативные с точки зрения таксономической диагностики.

Предложенный подход сравнительного электронно-микроскопического исследования особенностей микроструктуры контурного пера позволяет не только эффективно диагностировать виды по перьям и их фрагментам, но и выявлять в будущем специфические черты, на формирование которых оказал влияние комплекс эколого-морфологических адаптаций компенсаторного типа.

### Литература

1. Фадеева Е.О., 2009. Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера черного стрижа (*Apus apus*) // Вестник МГПУ. Серия Естественные науки. – №2 (4). – С. 48-55.
2. Фадеева Е.О., 2009. Особенности микроструктуры контурного пера Соколиных (Falconidae) // Биоразнообразие и роль особо охраняемых природных территорий в его сохранении: Мат-лы Межд. научн. конф., посвященной 15-летию гос. природного заповедника Воронинский”, (п. Инжавино Тамбовской области, 16-19 сентября 2009 г.). – Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. – С.267-269.
3. Фадеева Е.О., 2011. Адаптивные особенности микроструктуры контурного пера полярной совы (*Nyctea scandiaca*) // Вестник МГПУ. Серия “Естественные науки” – №2.(8). – С. 52-59.

4. Фадеева Е.О., Бабенко В.Г., 2010. Особенности тонкого строения маховых перьев врановых птиц (Corvidae), обусловленные спецификой полета // Орнитология в Северной Евразии: Мат-лы XIII Международной орнитологической конференции Северной Евразии (г. Оренбург, 30 апреля - 6 мая 2010 г.). – Оренбург: изд-во Оренбургского государственного педагогического университета, ИПК ГОУ ОГУ. – С. 310.
5. Фадеева Е.О., Чернова О.Ф., 2011. Особенности микроструктуры контурного пера врановых (Corvidae) // Известия РАН. Серия Биологическая. – №4. – С. 436-446.
6. Чернова О.Ф., Фадеева Е.О., 2009. Возможности диагностики Воробьинообразных птиц по фрагментам перьев // Проблемы авиационной орнитологии: Мат-лы Первой Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 14-16 сентября 2009 г.). – М.: ИПЭЭ РАН. – С. 108-116.
7. Чернова О.Ф., Фадеева Е.О., 2009. Своеобразная архитектура перьев эму (*Dromaius novaehollandiae*, Struthioniformes) // Докл. РАН. – Т. 425. – № 5. – С. 713-717.
8. 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.
9. Чернова О.Ф., Перфилова Т.В., Фадеева Е.О., Целикова Т.Н., 2009. Атлас микроструктуры перьев птиц (Библиотека судебного эксперта). – М.: Наука. – 173 с.
10. Bragulla H., Hirschberg R.M., 2003. Horse hooves and bird feathers: two model systems for studying the structure and development of highly adapted integumentary accessory organs - the role of the dermo-epidermal interface for the micro-architecture of complex epidermal structures // J. Exp. Zool (Mol Dev Evol). – V. 298B. – P. 140-151.
11. Dove C.J., 2000. A descriptive and phylogenetic analysis of plumaceous feather characters in charadriiformes // Ornithol. Monographs. – V. 51. – P. 1-163.
12. Lucas A.M., Stettenheim P.R., 1972. Avian anatomy. Integument. Agriculture handbook 362. – Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. – 679 p.
13. McGowan C., 1989. Feather structure in flightless birds and its bearing on the question of the origin of feathers // J. Zool. – V. 218. – P. 537-547.
14. Prum R.O., Dyck J., 2003. A hierarchical model of plumage: morphology, development, and evolution // J. Exp. Zool (Mol Dev Evol). – V. 298B. – P. 73-90.
15. Stettenheim P.R., 1976. Structural adaptations in feathers // Proc. 16th Int. Ornithol. Congr. – P. 385-401.
16. Stettenheim P.R., 2000. The integumentary morphology of Modern birds – An overview // Amer. Zool. – V. 40. – P. 461-477.