

Правительство Москвы  
Moscow Government

Рабочая группа по журавлям Евразии  
Crane Working Group of Eurasia

Евразийская Региональная Ассоциация Зоопарков и Аквариумов  
Euro-Asian Regional Association of Zoo & Aquria

Московский зоологический парк  
Moscow Zoo

## **ЖУРАВЛИ ЕВРАЗИИ**

(БИОЛОГИЯ, ОХРАНА, РАЗВЕДЕНИЕ)

**Выпуск 2**

(ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ)

**СБОРНИК ТРУДОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ЖУРАВЛИ НА РУБЕЖЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ»  
УКАРАИНА, АСКАНИЯ-НОВА, 7-11 ОКТЯБРЯ, 2003**



## **CRANES OF EURASIA**

(BIOLOGY, PROTECTION, BREEDING IN CAPTIVITY)

**ISSUE 2**

(ADDITIONAL ISSUE)

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE  
«CRANES ON THE EDGE OF THE MILLENNIUMS»  
UKRAINE, ASKANIA-NOVA, 7-11 OCTOBER 2003**

**Москва  
Moscow  
2005**

**Журавли Евразии (биология, охрана, разведение). 2006. М.,  
Московский зоопарк, вып. 2 (дополнит. издание). 340 с.**

Сборник трудов Международной конференции «Журавли на рубеже тысячелетий» включает материалы, посвященные состоянию популяции журавлей, их современному распределению, численности, биологии, морфологии, охране, разведению в неволе и реинтродукции.

Редакторы: С. Вингер, Е. Ильяшенко  
Перевод: И. Федосеева, Е. Пономарева  
Макет обложки: С. Погонин  
Компьютерный оригинал-макет: Е. Ильяшенко

Адрес РГЖ Евразии: 123242, Москва, ул. Б. Грузинская, 1.  
Тел/факс: (495) 205-90-01, e-mail: eilyashenko@savingcranes.org

Издано при поддержке Московского зоопарка и Евроазиатской Региональной Ассоциации Зоопарков и Аквариумов

---

**Cranes of Eurasia (biology, protection, breeding in captivity).  
2006. Moscow, Moscow Zoo, vol. 2 (additional issue). 340 p.**

Proceedings of the International Conference «Cranes on the Edge of the Millenniums» is included mainly scientific reports of this conference. Information about current situation with cranes population, their distribution, number, biology, morphology, protection, captive breeding and reintroduction are presented.

Editors: S. Winter, E. Ilyashenko  
Translators: I. Fedoseeva, E. Ponomareva  
Cover design: S. Pogonin  
Computer design: E. Ilyashenko

CWGE address: B. Gruzinskaya str., 1, Moscow, 123242, Russia  
Tel: (495) 205-90-01, e-mail: eilyashenko@savingcranes.org

The production of this publication has been supported by Moscow Zdz the Euro-Asia Association of Zoos and Aquariums

Формат 70 x 108/16. Объем 21,25 п.л. Тираж 150 экз. Заказ № 246.

Типография Россельхозакадемии 115598, Москва, ул. Ягодная, 12

второго порядков с пуховой части покровного пера, заливали лаком, напыляли золотом. Изготавливали поперечные и продольные срезы бородок первого порядка опахала покровных перьев. Узлы и междоузлия изучали на бородках второго порядка пуховой части покровных перьев.

При описании строения дефинитивных перьев использовали общепринятые термины (см. Чернова и др., 2005), а при описании элементов постэмбриональных генераций перьев - специально предложенные нами (см. В.Ю. Ильяшенко, настоящий сборник). Описания тонкого строения эмбрионального и мезоптильного пуха, а также дополнительного пера журавлей приводятся впервые. Для изучения взяты образцы: эмбриональный пух, предшественник ювенильного пуха - *neoptile praeplumulae*, с межлопаточной аптерии; эмбриональный пух, предшественник ювенильного пера - *neoptile praepennae*, и мезоптиль - *mesoptile praepennae*, с рулевого пера, а также, для сравнения, изучена пуховая часть опахала и дополнительное перо ювенильного пера подхвостья даурского журавля.

## 2. Результаты и обсуждение

### 2.1. Число дефинитивных перьев и постэмбрионального пуха

**2.1.1. Дефинитивные перья.** Известно число дефинитивных контурных перьев на каждой птерилии у семи видов журавлей. У стерха на голове и верхней половине шеи насчитывается около 12 тыс., на остальной части тела - примерно 5,2 тыс., а без перьев крыла - 3,1 тыс. перьев (Кашенцева, 1998). Вместе с тем, данные о количестве пуха и пуховых перьев отсутствуют.

С целью определения примерного соотношения разных категорий дефинитивных перьев мы подсчитали число перьев на образцах кожи площадью 1 см<sup>2</sup>, взятых с разных участков тела взрослого стерха (табл. 1).

Таблица 1. Обилие (шт/см<sup>2</sup>) и длина (см) разных категорий дефинитивных перьев на теле стерха

Table 1. Density (piece/cm<sup>2</sup>) and length (cm) of different categories of definitive feathers for Siberian Crane

Категория пера Feather category	Птерилия/ Pterylia								Брюшная Аптерия Abdominal apteria	
	Верхнешейная Dorsal cervical		Межлопаточная Interscapular		Грудная Pectoral		Брюшная Abdominal			
	обилие density	длина length	обилие density	длина length	обилие density	длина length	обилие density	длина length	обилие density	длина length
Пух Down	40	0.5	24	1.2	8	0.8	18	0.5	8	2.0-4.0
Пуховое перо Down feather					8	1.6	18	1.2-2.5		
Полупуховое перо Semiplume feather					2	6.2	2	10.0		
Контурное перо Contour feather	30	2.0-3.0	24	3.0-5.0	2	7.8	2	13.0	2	4.0
<b>Всего Total</b>	<b>70</b>		<b>48</b>		<b>20</b>		<b>32</b>		<b>10</b>	



На верхнешейной и межлопаточной птерилиях и брюшной аптерии пуховые и полупуховые перья отсутствуют. На одно контурное и полупуховое перья приходится от одного до семи пуховых перьев и пуха, а с учетом размеров птерилий и аптерий в среднем - четыре. Таким образом, на теле взрослого стерха без головы, верхней половины шеи и крыльев число пуховых перьев и пуха может составлять 12.5 тыс., а с полупуховыми и контурными перьями - примерно 16 тыс. Диаметр ствола пера у выхода его на поверхность кожи на брюшной птерилии составляет 1,8 мм, верхнешейной - 1.2 мм, а межлопаточной и грудной - по 1.0 мм.

**2.1.2. Эмбриональный и постэмбриональный пух.** Сведения о числе эмбрионального и мезоптильного пуха в литературе отсутствуют. Визуально обилие пухового покрова птенцов - число эмбриональных пушин на единицу площади поверхности тела, значительно превосходит обилие оперения взрослых птиц. Можно было бы предположить, что общее число эмбрионального пуха равно числу ювенильных и дефинитивных перьев, а обилие уменьшается в связи с увеличением поверхности тела при росте птицы. Однако известно, что в онтогенезе между частью эмбрионального пуха отрастает мезоптильный пух, а между некоторыми из последних - ювенильный. Таким образом, общее число перьевых структур увеличивается.

Для выяснения количественных характеристик эмбриональной, мезоптильной и ювенильной генераций перьев подсчитали пух на образцах кожи площадью 1 см<sup>2</sup> у птенца стерха с аналогичных участков, что и у взрослой особи.

У птенца стерха обилие эмбрионального пуха на брюшной аптерии, брюшной и грудной птерилиях достигает 100 шт./см<sup>2</sup>, межлопаточной и верхнешейной птерилиях - 120 шт./см<sup>2</sup>. Для подсчета общего числа эмбрионального пуха на теле, птенца (без неоперенной части ног) поместили в мерный цилиндр. Объем вытесненной им воды равен 120 мл, а без ног, крыльев, головы и шеи - примерно 100 мл. Если условно считать конфигурацию туловища птенца шаровидной, то на расчетной площади его поверхности может располагаться около 10 тыс. эмбриональных пушин.

Учитывая, что практически все контурные и полупуховые перья представлены в эмбриональном наряде своими предшественниками - *neoptile praepernae*, число последних на туловище может достигать примерно 3 тыс. Остальные 7 тыс., очевидно, являются предшественниками пуха и пуховидного пера - *neoptile praeplumulae*. Соотношение предшественников пера и таковых пуха равно 1:2, в отличие от дефинитивной генерации (1:4). Мезоптильный и ювенильный пух второго типа, отрастающий позже из не функционировавших до этого перьевых фолликулов, насчитывает примерно 6 тыс.

Если предположить, что в процессе развития птенца новые категории перьев отрастают между функционировавшими перьевыми фолликулами пропорционально увеличению площади поверхности тела, то, в соответствии с расчетами, условно, соотношение перьевых структур у птенцов разного возраста может быть следующим.

В эмбриональной генерации (10 тыс. пушин) соотношение *praepernae* и *praeplumulae* равно 1:2, а их число — 3 тыс. и 7 тыс., соответственно.

В мезоптильной генерации (12 тыс. пушин) соотношение *praepernae* и *praeplumulae* равно 1:3, а их число — 3 тыс. и 9 тыс., соответственно. С учетом того, что 7 тыс. пушинок мезоптильного пуха *praeplumulae* являются продолжением эмбрионального пуха *praeplumulae*, то оставшиеся 2 тыс. — мезоптильный пух второго типа, отрастающий из не функционировавших ранее перьевых фолликулов.

В ювенильной генерации (16 тыс. перьев разных категорий) соотношение покровных и полупуховых перьев и пуха и пуховидного пера равно 1:4. Число покровных и полупуховых перьев — 3 тыс., пуха и пуховых перьев — 13 тыс. С учетом того, что 9 тыс. последних являются



продолжением эмбрионального и мезоптильного пуха, оставшиеся 4 тыс. — пух и пуховые перья второго типа.

## 2.2. Тонкое строение дефинитивных перьев и постэмбрионального пуха

### 2.2.1. Дефинитивные перья

#### 2.2.1.1. Бородки первого порядка опахала покровных перьев

**2.2.1.1.1. Форма поперечного среза — поперечника**, удлиненно-каплевидная с расширенной закругленной вентральной стороной и зауженной закругленной дорзальной (рис.1). Бородка сильно уплощена с боковых сторон. Вентральный и дорзальный гребни простой удлиненно-конусовидной формы, уплощены с боков. Дистальный и проксимальный выступы не выражены. Гребни полностью заполнены корковым слоем, и сердцевина в них не заходит. Размеры поперечника изменяются незначительно у разных видов журавлей, и наименьшие у даурского журавля (табл.2). Судя по относительным показателям, наиболее сплющены поперечники у красавки, австралийского, черного и канадского журавлей, т.е. у них бородки наиболее вытянуты в дорзо-вентральном направлении и сильнее уплощены, чем у других видов.

Таблица 2. Морфометрия поперечного среза бородок первого порядка опахала покровных перьев журавлей

Table 2. Morphometry of cross-cut of the barbs of vane pennaceous portion of cover feathers

Вид Species	Размеры поперечника (макс.высота x макс.ширина), мкм Size of diameter (max height x max wide), mkm	Отношение высоты к ширине Attitude height to wide
<i>Balearica pavonina</i>	150x36	4.2
<i>B. regulorum</i>	169x38	4.4
<i>Anthropoides virgo</i>	176x24	7.3
<i>Grus antigone</i>	115x31	3.7
<i>G. canadensis</i>	167x27	6.2
<i>G. grus</i>	167x40	4.1
<i>G. japonensis</i>	180x40	4.5
<i>G. leucogeranus</i>	179x36	5.0
<i>G. monacha</i>	117x17	6.9
<i>G. nigricollis</i>	177x46	3.8
<i>G. rubicunda</i>	195x25	7.8
<i>G. vipio</i>	82x18	4.6

Сравнение формы поперечника бородок первого порядка опахала покровного пера журавлей с таковой у других изученных видов показывает, что она вполне может служить диагностическим признаком, для журавлей — на уровне семейства. У других видов конфигурация поперечника сильно варьирует, но, такая как у журавлей — сравнительно простая форма, не встречается.

**2.2.1.1.2. Кутикулу** легко обнаружить в области прикрепления бородок первого порядка к стержню (в своеобразных карманах), а также по всей боковой поверхности бородок первого порядка. У журавлей границы между кутикулярными клетками не сглажены и хорошо различимы (рис.2). Орнамент меняется в разных участках бородок и не специфичен для вида. Он — мозаичный (или мостовидный): клетки не перекрываются, а располагаются встык. Границы между клетками

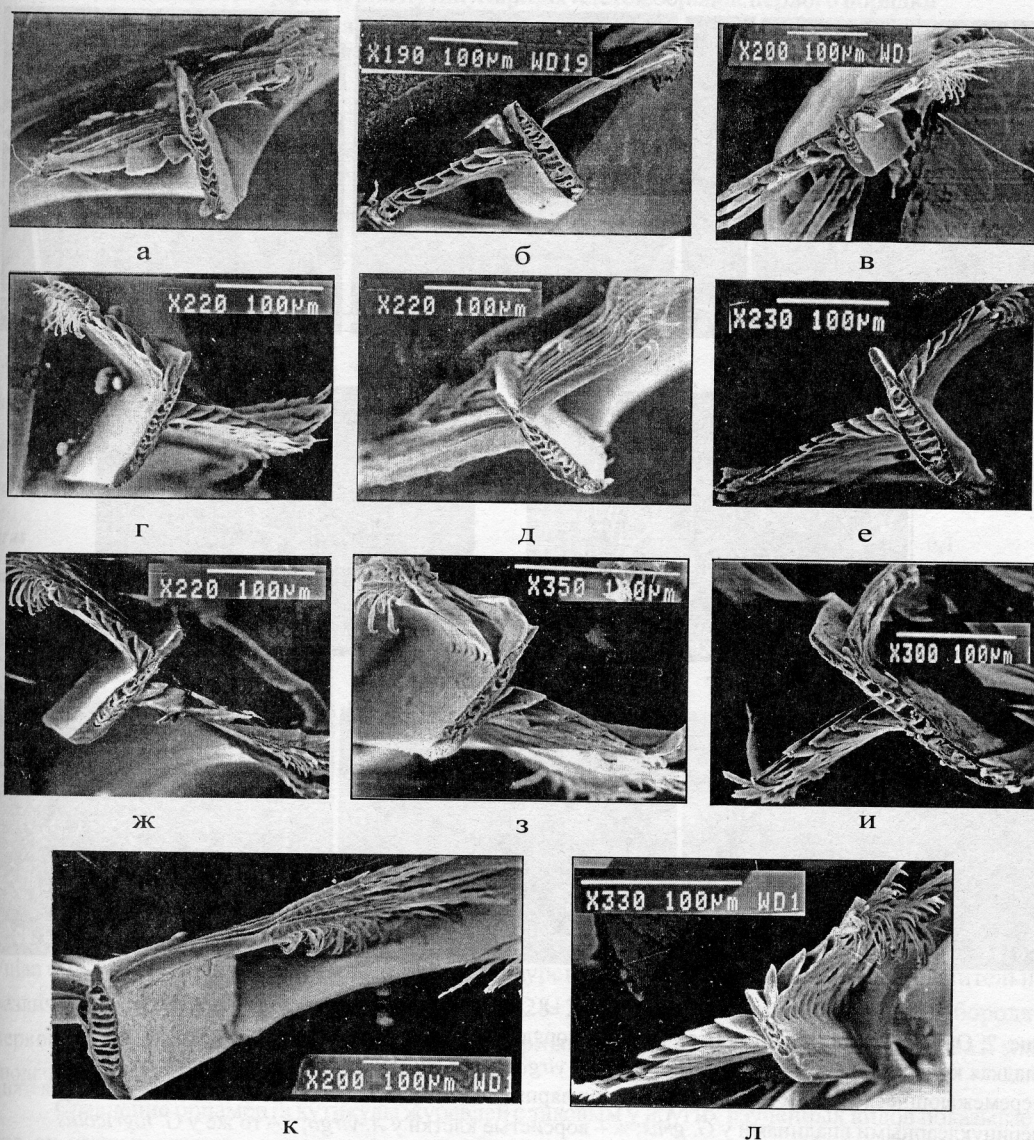


Рис. 1. Поперечные срезы бородок первого порядка опахала покровных перьев журавлей (срез в нижней трети бородки):

а – *Anthropoides virgo*; б – *Balearica pavonina*; в – *Grus antigone*; г – *G. canadensis*; д – *G. grus*; е – *G. japonensis*; ж – *G. leucogeranus*; з – *G. monacha*; и – *G. rubicunda*; к – *G. nigricollis*; л – *G. vipio*

Fig. 1. Cross-sections of the vane barbs of crane cover feathers:

а – *Anthropoides virgo*; б – *Balearica pavonina*; в – *Grus antigone*; г – *G. canadensis*; д – *G. grus*; е – *G. japonensis*; ж – *G. leucogeranus*; з – *G. monacha*; и – *G. rubicunda*; к – *G. nigricollis*; л – *G. vipio*

отчетливые, так как по краям клеток идут невысокие валикообразные утолщения (рис. 2а-г, 3в,г) или, напротив, бороздки (рис. 3а). Последнее предполагает, что такие клетки соединяются пальцеобразно, по типу «замка», и кутикула имеет многослойное строение. Валикообразные утолщения границ клеток бывают хорошо выражены, а между валиками соседних клеток различима соединительная щель. То же характерно и для некоторых других видов птиц. Например, у чирка-трескунка толщина разделительного валика между соседними клетками достигает 2 мкм, а по его центру проходит шов.



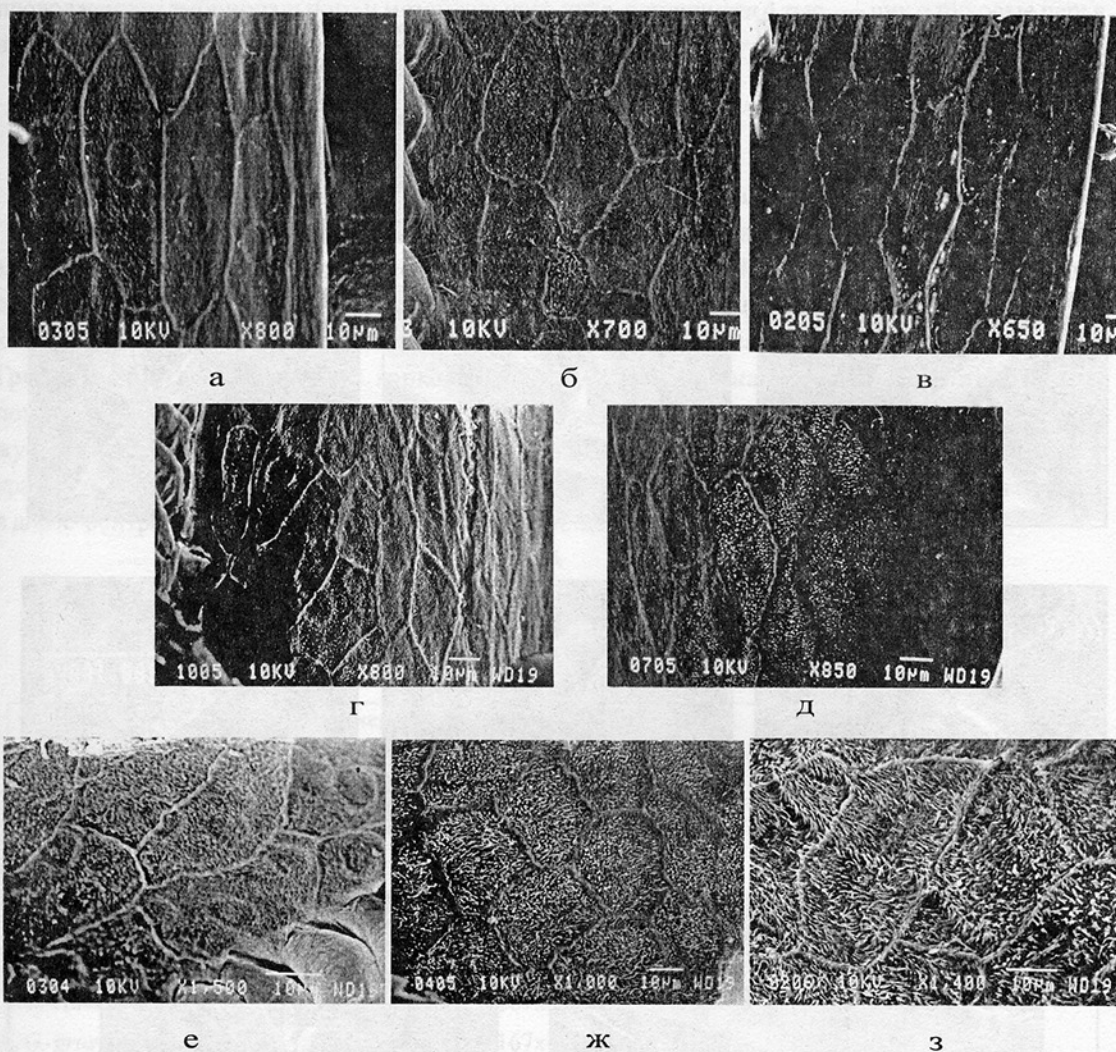


Рис. 2. Орнамент кутикулы бородок первого порядка опахала покровных перьев журавлей: гладкая кутикула: а – *G. grus*; б – *Anthropoides virgo*; в – *G. nigricollis*; г – *G. japonensis*; д – перемежающиеся гладкие и ворсистые кутикулярные клетки у *Balearica regulorum*; е – сетчатые клетки с перинуклеарными впадинами у *G. grus*; ж – ворсистые клетки у *A. virgo*; з – то же у *G. nigricollis*

Fig. 2. Cuticular ornament of the vane barbs of crane cover feather: smooth cuticle: а – *G. grus*; б – *Anthropoides virgo*; в – *G. nigricollis*; г – *G. japonensis*; д – alternate smooth and fleecy cuticular cells of *G. nigricollis*; е – net cuticular cells with perinuclear pits in *G. grus*; ж – fleecy cuticular cells of *A. virgo*; з – the same of *G. nigricollis*

По конфигурации можно выделять два основных типа асимметричных пяти-шестиугольных клеток, которые соседствуют или перемежаются. Клетки первого типа — вытянуты вдоль бородки, имеют относительно острые углы (рис. 2а) и крупные размеры (табл. 3). Они обычно с хорошо различимой впадиной перинуклеарного пространства, располагающейся в центральной или верхне-боковой частях клетки (рис. 2; см. также рис. 5 по: Fulan et al., 1991). Клетки второго типа — более мелкие и уплощенные (табл. 3) с ворсистой поверхностью (рис. 2,з). Перинуклеарные впадины хорошо различимы на гладкой и слабоворсистой кутикуле, но не видны на кутикуле, густо покрытой выростами. Иногда в клетках заметны несколько впадин, накладывающихся одна на другую (рис. 2е), что, по-видимому, свидетельствует о многослойности кутикулы.

Таблица 3. Морфометрия кутикулярных клеток бородок первого порядка  
опахала покровных перьев журавлей

Table 3. Morphometry of cuticular cells of the barbs of vane pennaceous portion of cover feathers

Вид Species	Размеры клеток, мкм, M±m Size of cells, mkm, M±m			Размеры кутикулярных выростов, мкм, <i>lim</i> Size of cuticular offshoots mkm, <i>lim</i>	
	гладких и сетчатых of smooth and reticulation	ворсистых или бугорчатых of fleecy or knobby	перинуклеарной ямки of perinuclear pit	длина length	толщина thickness
<i>Balearica regulorum</i>	42±1x20±3	40±3x20±3	9±1x5±1	5-7	0,2
<i>B. pavonina</i>	33±3x20±4	45±5x20±3	10±2x5±1	5-5,5	0,2
<i>Anthropoides virgo</i>	41±5x25±5	25±3x23±2	10±1x8±0,5	2,5-3	0,2-0,3
<i>Grus antigone</i>	50±4x20±3	40±2x20±3	10±2x8±1	2-3	0,2
<i>G. canadensis</i>	50±3x20±1	30±3x20±2	Не различима Non visible	3-3,5	0,2
<i>G. grus</i>	72±3x22±3	30±2x25±1	9±1x6±1	2-4	0,1
<i>G. japonensis</i>	30±2x20±3	Бугорчатые 29±2x20±1	10±1x10±1	2-3	0,1
<i>G. leucogeranus</i>	60±3x30±5	Бугорчатые 50±1x20±3	10±1x10±0,5	1-2	0,1-0,2
<i>G. monacha</i>	50±4x20±2	Не обнаружены Not discovered	10±2x8±1	2-3	0,1
<i>G. nigricollis</i>	45±5x20±3	40±3x25±3	8±1x8±2	2-3	0,4-0,5
<i>G. rubicunda</i>	40±4x20±2	30±1x22±5	8±1x8±1	2-3	0,3
<i>G. vipio</i>	60±3x20±2	45±4x20±2	10±1x8±1	2-3	0,2-0,3

Сравнение морфометрии кутикулярных клеток с данными литературы (см. рис.5 по: Hang Fulan et al., 1991) показывает, что, например, у даурского журавля, размеры клеток значительно различаются в разных участках бородок: 70±10x28±2 мкм для слабоворсистых клеток бородки первого порядка махового пера с перинуклеарным углублением размером 12±1x8±1 мкм (подсчитано по рис.5 по: Hang Fulan et al., 1991).

Сравнение орнамента кутикулы журавлей с таковым у других изученных видов показывает, что он может служить лишь дополнительным диагностическим признаком. У других исследованных видов птиц размеры как гладких, так и ворсистых клеток, а также размеры перинуклеарной впадины вполне сходны с таковыми у журавлей.

Фронтальная наружная поверхность вытянутых клеток, как правило, гладкая, сетчатая, бугорчатая или бугорчато-перфорированная, а поверхность более округлых клеток, обычно, ворсистая.

Сетчатая структура образована переплетением тонких (0.2-0.3 мкм) извитых фибрилл (рис. 3а). Встречается бугорчатая и бугорчато-перфорированная кутикула (рис. 3б). Бугорки могут заканчиваться игловидными короткими выростами (рис. 3в,г). Иногда на гладкой поверхности кутикулярных клеток располагаются редкие мелкие игольчатые выросты (рис. 3д), т.е. имеется переход к клеткам второго типа — ворсистым (рис. 3е). Кутикулярные выросты толщиной до 0.5 мкм образуют сплошное покрытие боковой поверхности бородки первого порядка, выступая над ее поверхностью на высоту от 1 мкм (стерх) до 7 мкм (западный венценосный журавль). На продольном срезе они выглядят как бахромы, которая, вероятно, может колыхаться в разных



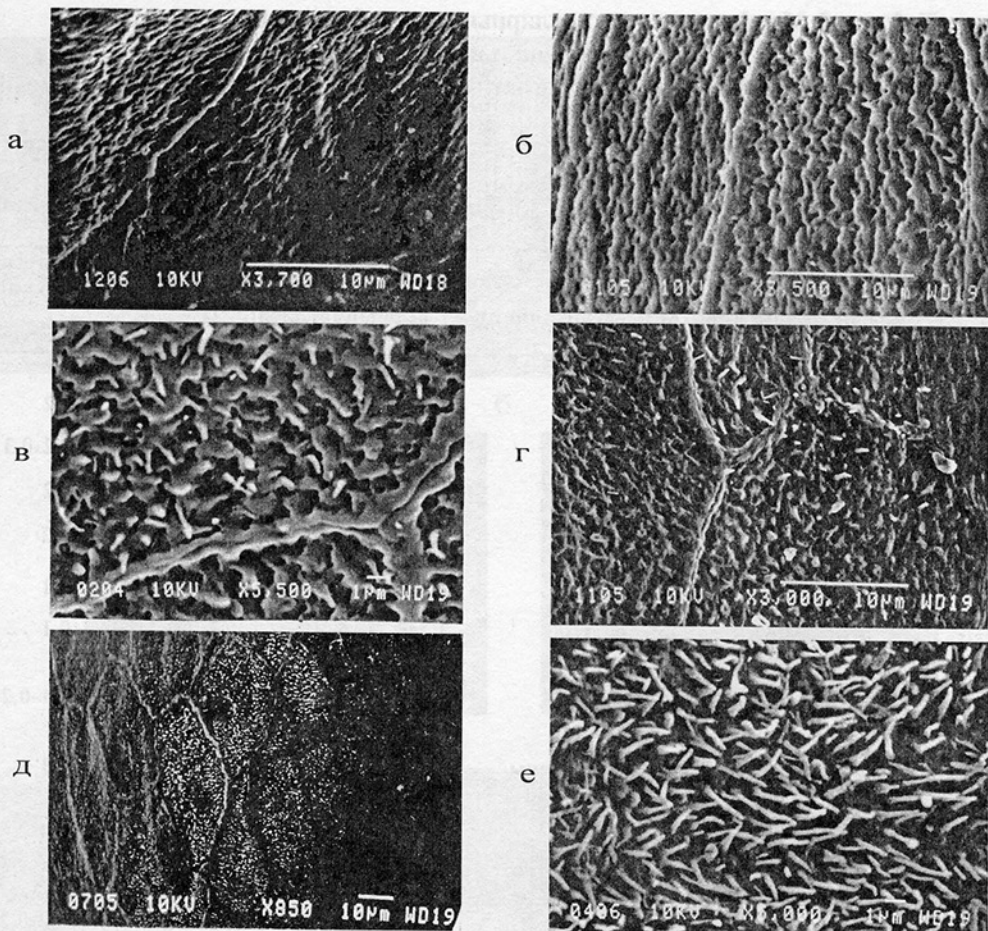


Рис. 3. Рельеф фронтальной поверхности кутикулярных клеток боронок первого порядка опахала покровных перьев журавлей:

а – сетчатая кутикула *Grus monacha*; б – бугорчато-перфорированная кутикула *G. antigone*; в – бугорчатая кутикула с отдельными иглами у *G. nigricollis*; г – то же у *G. leucogeranus*; д – гладкая кутикула с редкими выростами у *Anthropoides virgo*; е – ворсистая кутикула *A. virgo*

Fig. 3. Relief of frontal surface of the vane barb cuticular cells of cranes:

а – net cuticle of *Grus monacha*; б – knobby-perforated cuticle of *G. antigone*; в – knobby cuticle with separate rare needles of *G. nigricollis*; г – the same of *G. leucogeranus*; д – smooth cuticle with rare protrusions of *Anthropoides virgo*; е – fleecy cuticle of *A. virgo*

направлениях. Во всяком случае, при рассмотрении фронтальной поверхности видно, что выросты направлены в разные стороны хаотично. Форма выростов и их плотность сходна у всех видов журавлей. Как правило, в проксимальной части вырост разделен на два-три «корешка», а дистальная часть его заострена. Неразделенные заостренные выросты в виде иголок найдены у серого и западного венценосного журавлей.

Следует отметить, что гладкая, сетчатая или ворсистая поверхность кутикулярных клеток не является уникальной особенностью перьев журавлей и не может служить отличительной чертой строения их кутикулы, как предполагают некоторые авторы (Hang Fulan et al., 1991). Сходный рельеф обнаружен нами у самых различных видов, относящихся к разным биологическим формам и таксонам. Гладкая кутикула встречается у всех изученных видов птиц. Ворсистая кутикула найдена нами у сизого голубя (с неразделенными проксимальными отделами), кедровки (редкие короткие «иголочки»), тетерева, бекаса, обыкновенного канюка, осоеда (очень густое

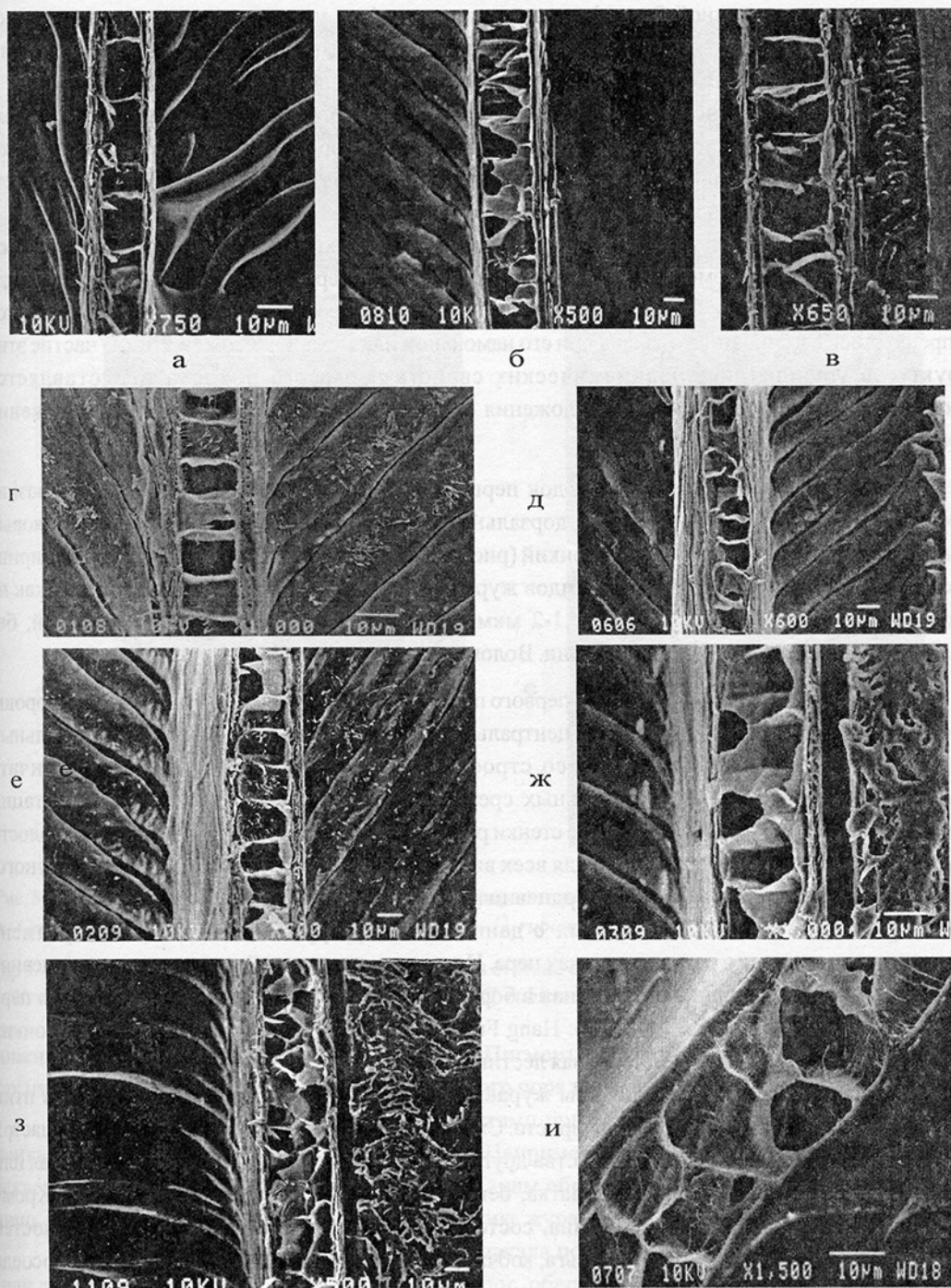


Рис. 4. Строение сердцевины бородок первого порядка опахала покровных перьев журавлей: а-ж – однорядная лестничная сердцевина; з-и – двурядная лестничная сердцевина; а – *Grus vipio*; б – *G. canadensis*; в – *G. japonensis*; г – *G. antigone*; д – *G. monacha*; е – *G. nigricollis*; ж – *G. grus*; з – *G. leucogeranus*; и – *Balearica pavonina*

Fig. 4. Medullary structure of vane barbs of crane cover feathers:

а-ж – single-row ladder medulla; з-и – two-rows ladder medulla; а – *Grus vipio*; б – *G. canadensis*; в – *G. japonensis*; г – *G. antigone*; д – *G. monacha*; е – *G. nigricollis*; ж – *G. grus*; з – *G. leucogeranus*; и – *Balearica pavonina*



ворсистое покрытие длиной 2 мкм), черного коршуна (как у осоеда, но ворсинки сложной конфигурации и очень толстые — 2-5 мкм с закругленной вершиной), орлана-белохвоста, обыкновенной пустельги. У лебедя-шипуна выросты имеют сложную звездчатую форму.

Сетчатая или ребристая кутикула характерна для черного стрижа (ребра вытянуты вдоль длинной оси клетки), кедровки, ворона, грача, галки, серой вороны, тетерева, серой куропатки, чибиса (хаотичное переплетение), кобчика (сетчато-пористая). У гуся-сухоноса поверхность кутикулярных клеток пористая.

Вероятно, такой сложный рельеф увеличивает поверхность пера, облегчает перьевой покров и улучшает его термоизоляционные свойства за счет удержания инертного воздуха между структурами поверхности. Возможно, основная функция сложного рельефа кутикулярных клеток — препятствовать слипанию опахала при его намокании или механическом сжатии. Участие этих структур в улучшении аэродинамических свойств перьевого покрова представляется сомнительным, хотя имеются предположения о роли рассеченной поверхности в снижении турбулентности при полете.

**2.2.1.1.3. Корковый слой** бородок первого порядка опахала покровного пера развит неравномерно. Он утолщен в области дорзального и вентрального гребней, а вдоль боковых стенок бородки корковый слой очень тонкий (рис. 1). Так, на поперечных срезах бородки ширина коры в гребнях изменяется у разных видов журавлей в пределах 20-30 мкм, в то время как на боковых сторонах она не превышает 1-2 мкм. Корковый слой плотный, волокнистый, без различимых пигментных гранул и трещин. Волокна вытянуты вдоль бородки.

**2.2.1.1.4. Сердцевина** в бородках первого порядка опахала покровного пера развита хорошо (рис. 1). Она почти полностью занимает центральную часть бородки, но не входит в вентральный и дорзальный гребни. По аналогии со строением сердцевинного волос, можно различать однорядную лестничную (на продольных срезах полости сходного размера и ориентации располагаются в один ряд, а утолщенные стенки разделяют их) и двурядную лестничную (полости лежат в два ряда). Первая характерна для всех видов журавлей, кроме западного венценосного, серого журавлей и стерха, у которых сердцевина двурядная (рис. 4).

Сравнение полученных данных с данными литературы показывает, что орнамент сердцевинного волоса изменяется в разных участках пера. Например, у черношейного журавля сердцевина пигментированная двурядная лестничная в бородках первого порядка опахала махового пера (при ее толщине 60 мкм) (см. рис. 6 по: Hang Fulan et al., 1991), а по нашим данным, в тонких бородках (30 мкм) (рис. 4, е) — однорядная лестничная.

Сравнение строения сердцевинного волоса журавлей с таковой у других изученных видов птиц показывает, что она устроена довольно просто. Сходная сердцевина обнаружена у бекаса, ушастой совы и кедровки. Напротив, у большинства других видов сердцевина лестничная двурядная или лестничная многорядная (серая куропатка, бекас, ворон, грач, серая ворона, кряква). Кроме того, присутствует ячеистая сердцевина, состоящая из многочисленных округлых полостей разного размера (обыкновенная пустельга, кобчик, тетерев, чибис, сизый голубь и др.). У осоеда обнаружена сетчатая сердцевина: многочисленные пятиугольные клетки вытянуты вдоль бородки.

Вероятно, как и у волос млекопитающих, строение сердцевинного волоса зависит от диаметра бородки: в тонких бородках (10-35 мкм) имеется однорядная лестничная сердцевина, а в толстых (35-60 мкм) — многорядная лестничная, ячеистая или сетчатая, т.е. действуют очевидные корреляционные структурные закономерности, обеспечивающие механическую прочность структуры за счет внутреннего каркаса.

Стенки сердцевинных полостей собраны в крупные складки (рис. 5а-в), могут быть перфорированными (рис. 5 г, а также рис. 7 по: Hang Fulan et al., 1991) и с многочисленными

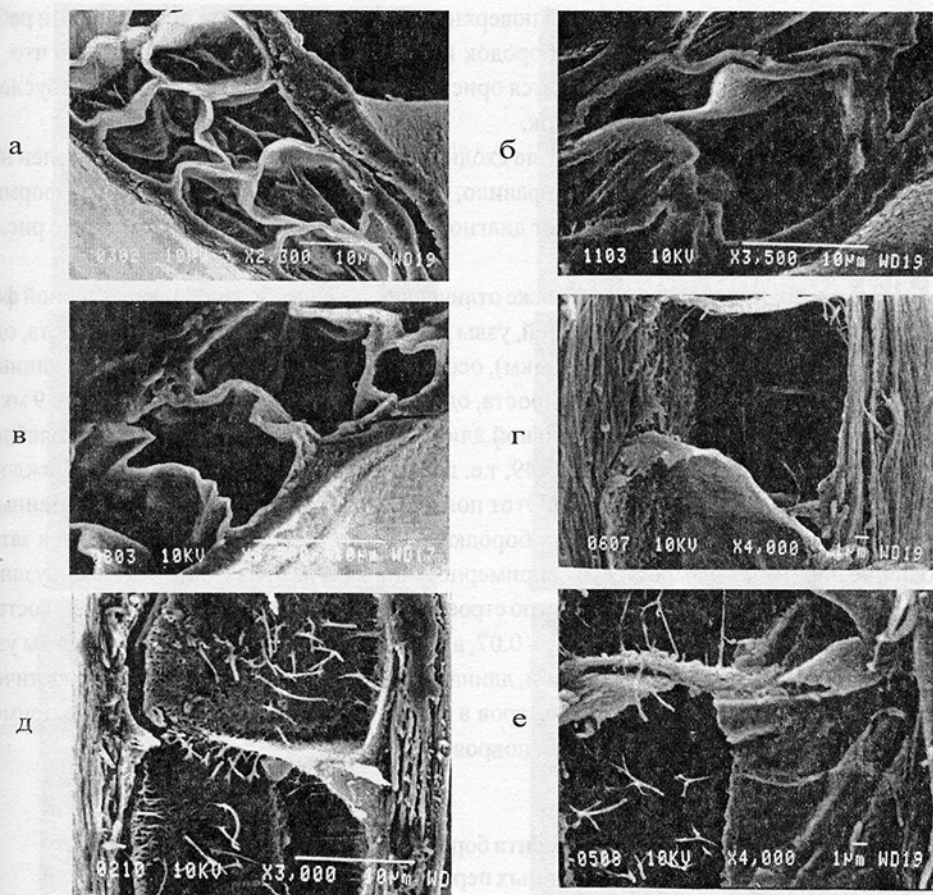


Рис. 5. Рельеф стенок сердцевинных клеток бородок первого порядка опахала покровных перьев журавлей: а - *Grus grus*; б - *G. leucogeranus*; в - *G. canadensis*; г - *G. rubicunda*; д - *G. nigricollis*; е - *Balearica pavonina*

Fig. 5. Relief of the medullar cell walls of the vane barbs of crane cover feathers:

а - *Grus grus*; б - *G. leucogeranus*; в - *G. canadensis*; г - *G. rubicunda*; д - *G. nigricollis*; е - *Balearica pavonina*

тонкими выростами и перепонками (рис. 5д,е). Пигментные гранулы здесь не обнаружены, так как изученная нами нижняя треть бородки первого порядка опахала обычно не пигментирована.

Складчатая и перфорированная с выростами поверхность стенок клеток журавлей не уникальна. Она встречается и у других видов. Например, сильноскладчатые стенки у галки и бекаса, перфорированные стенки у тетерева. Таким образом, этот показатель может служить лишь дополнительным признаком при диагностике журавлей.

Сердцевина бородок первого порядка опахала покровного пера, заполненная воздухом (или другой смесью газов), как и сердцевина волос, обеспечивает термоизоляционные качества и легкость покровов.

## 2.2.1.2. Бородки второго порядка пуховой части покровного пера

### 2.2.1.2.1. Тонкое строение кутикулы

Кутикула бородок второго порядка пуховой части покровного пера состоит из клеточесегментов, вставленных одна в другую, и в каждом сегменте различимы «узел» и «междуузлие». По строению эта кутикула может быть отнесена (по аналогии со строением волос) к типу кольцевидной с разделенным свободным дистальным краем узла (рис.6).



У всех изученных видов журавлей поверхность сегмента покрыта продольными ребрами. Это вообще характерно для кутикулы бородок второго порядка птиц и считается, что такая фибриллярная исчерченность определяется ориентацией кератиновых белков или обусловлена кератинизацией и обезвоживанием клеток.

Конфигурация свободного края узла сходна у всех журавлей. Этот край разделен на три-четыре выроста, из которых один, как правило, немного длиннее (табл. 4). Такая форма узла характерна для журавлей и вполне может диагностировать это семейство (см. также рис. 10 по: Hang Fulan et al., 1991).

Среди других изученных видов, также отличающихся своеобразной и характерной формой узлов, наиболее сходны с узлами журавлей, узлы у обыкновенного канюка (3-4 выроста, один из которых немного длиннее, но не более 8 мкм), осоеда (2-3 выроста, из которых один длиннее, но не более 7 мкм) и лебедя-шипуна (2-3 выроста, один из которых длиннее, но не более 9 мкм).

У журавлей отношение максимальной длины выроста к длине междоузлия колеблется в пределах 0.17 (серый журавль) до 0.43-0.49, т.е. достигает почти половины длины междоузлия (стерх, японский и канадский журавли). Этот показатель находится в пределах, указанных для пухового пера спины, но на игловидных бородках второго порядка покровного пера затылка, соотношение обратное — выросты узла примерно в полтора-два раза длиннее междоузлия (см. табл. по: Hang Fulan et al., 1991). У сходных по строению кутикулы видов, это отношение составляет у обыкновенного канюка 0.14, у осоеда — 0.07, а у лебедя-шипуна — 0.16, т.е. выросты узлов у них короче, чем у журавлей. Таким образом, длина выроста узла может служить диагностическим признаком при условии проведения промеров в определенных участках пера — например, на бородках второго порядка пуховой части покровного пера.

Таблица 4. Морфометрия сегмента бородки второго порядка пуховой части покровных перьев журавлей

Table 4. Morphometry of barbules segments of plumulaceous barbs of vane plumulaceous portion of cover feathers

Вид Species	Длина, мкм, <i>lim</i> Length, mkm, <i>lim</i>		Ширина узла, мкм, <i>max</i> Wide of node, mkm, <i>max</i>	Число выростов, <i>lim</i> Number of nodal prongs, <i>lim</i>
	междоузлия of internode	выроста of nodal prong		
<i>Balearica pavonina</i>	40-60	8-12	5-5.5	3-4
<i>B. regulorum</i>	38-43	4-10	4.5-5	3-4
<i>Anthropoides virgo</i>	35-40	7-9	3.5-4	3-4
<i>Grus antigone</i>	50-55	5-10	4.5-5	3-4
<i>G. canadensis</i>	40-42	10-20	8-9	3-4
<i>G. grus</i>	80-82	5-14	6-6.5	3-4
<i>G. japonensis</i>	40-41	7-20	5-5.5	3-4
<i>G. leucogeranus</i>	30-40	6-15	5-5.5	3-4
<i>G. monacha</i>	60-62	10-22	5-5.5	3-4
<i>G. nigricollis</i>	50-51	8-12	8-8.5	3-4
<i>G. rubicunda</i>	30-40	5-12	8-8.5	3-4
<i>G. vipio</i>	40-50	6-15	5-5.5	3-4

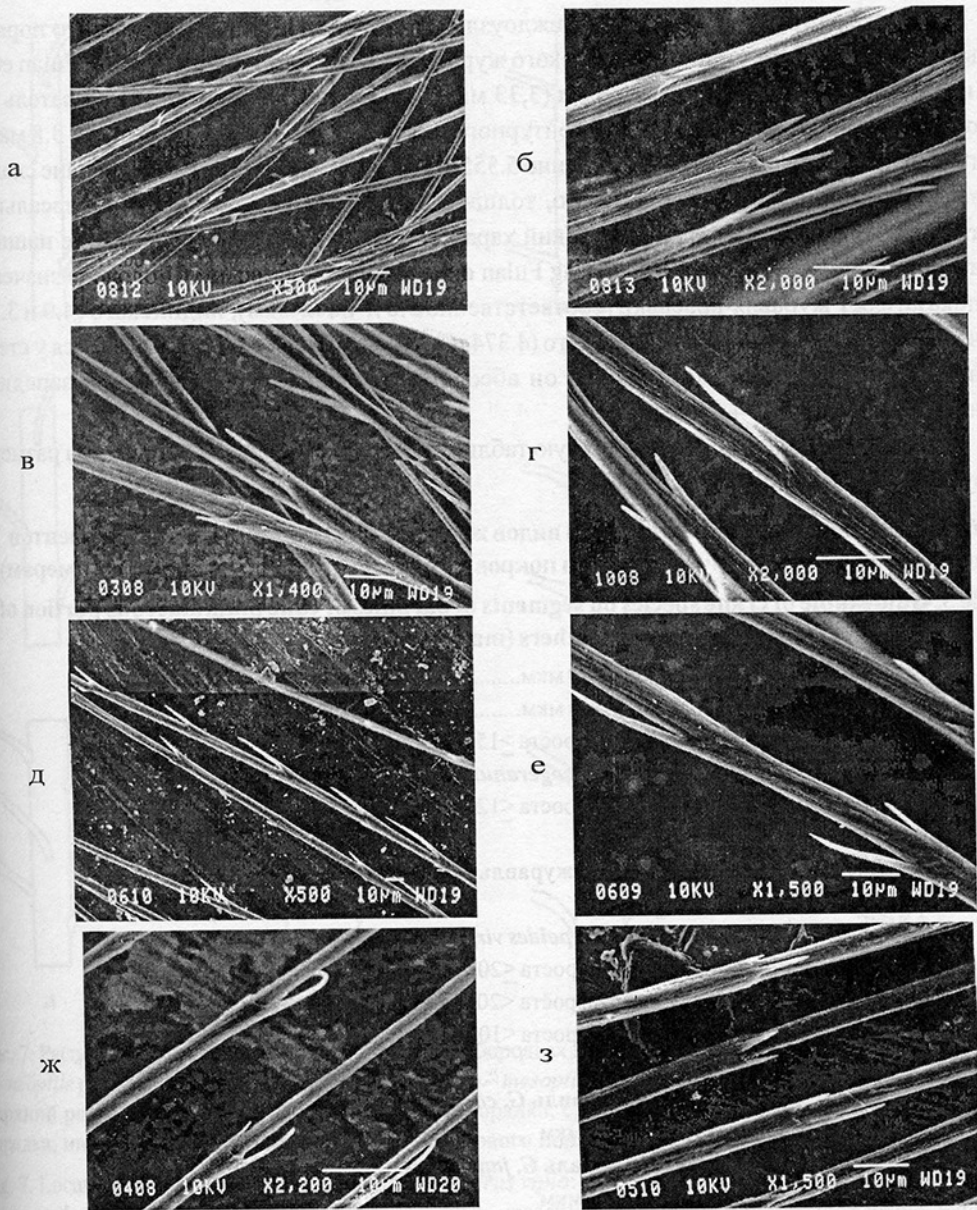


Рис. 6. Строение сегментов боронок второго порядка пуховой части покровных перьев журавлей: а, б - *Grus canadensis*; в - *G. grus*; г - *G. japonensis*; д, е - *G. rubicunda*; ж - *Anthropoides virgo*; з - *Balearica pavonina*

Fig. 6. Structure of segments of down barbules of crane cover feathers: а, б - *Grus canadensis*; в - *G. grus*; г - *G. japonensis*; д, е - *G. rubicunda*; ж - *Anthropoides virgo*; з - *Balearica pavonina*

По нашим данным, у журавлей ширина узлов колеблется значительно — от 3.5 мкм (красавка) до 9 мкм (канадский журавль). У других видов птиц, имеющих сходные по строению узлы, ширина узлов составляет: у обыкновенного канюка и лебедя-шипуна — 6 мкм, у осоеда — 5.7 мкм, т.е. этим показателем можно пользоваться только для определения видов внутри семейства журавлей.



По данным литературы, диаметр междоузлий максимален в бородках второго порядка пуховых перьев на спине у серого и японского журавлей (5.728 мкм и 5.625 мкм по: Fulan et al., 1991) и минимален у канадского журавля (3,33 мкм). По нашим данным, этот показатель для бородок второго порядка пуховой части контурного пера у канадского журавля равен 3.8 мкм, а у серого и японского журавлей соответственно 5.555 и 5.384 мкм, т.е. эти величины вполне сходны с приведенными в литературе. Возможно, толщина междоузлий — это тот универсальный показатель, который имеет диагностический характер. Во всяком случае, сравнение наших и литературных данных (см. табл. 1 по: Hang Fulan et al., 1991) показывает совпадение значений этого показателя у журавля-красавки (соответственно 5.0 и 4.842 мкм), индийского (4.0 и 3.742 мкм), черного (3.33 и 3.1744 мкм) и даурского (4.374 и 4.742 мкм) журавлей, но отличается у стерха и черношейного журавлей. Кроме того, он абсолютно одинаков у восточного и западного венценосных журавлей — 4.166 мкм.

Можно предложить определительную таблицу видов журавлей, основанную на размерах междоузлий, узлов и выростов (табл. 5).

**Таблица 5. Определительная таблица видов журавлей по деталям строения сегментов бородок второго порядка пуховой части покровных перьев (по максимальным размерам)**

**Table 5. Guide table of crane species on segments of barbules of vane plumulaceous portion of cover feathers (maximum size)**

1.	Длина междоузлий $\leq 40$ мкм.....	3
2.	Длина междоузлий $> 40$ мкм.....	7
3.	Длина апикального выроста $\geq 15$ мкм <b>Стерх <i>Grus leucogeranus</i></b>	
4.	Длина апикального выроста $\leq 12$ мкм.....	5
5.	Ширина узла $\geq 8$ мкм <b>Австралийский журавль <i>G. rubicunda</i></b>	
6.	Ширина узла $\leq 4$ мкм <b>Красавка <i>Anthropoides virgo</i></b>	
7.	Длина апикального выроста $\leq 20$ мкм.....	10
8.	Длина апикального выроста $< 20$ , но $> 10$ мкм.....	13
9.	Длина апикального выроста $\leq 10$ мкм.....	18
10.	Ширина узла $> 8$ мкм <b>Канадский журавль <i>G. canadensis</i></b>	
11.	Длина междоузлий 41 мкм <b>Японский журавль <i>G. japonensis</i></b>	
12.	Длина междоузлий 62 мкм <b>Черный журавль <i>G. monacha</i></b>	
13.	Ширина узла $> 5$ мкм.....	14
14.	Длина междоузлий 82 мкм <b>Серый журавль <i>G. grus</i></b>	
15.	Длина междоузлий 51 мкм <b>Черношейный журавль <i>G. nigricollis</i></b>	
16.	Длина междоузлий 60 мкм <b>Западный венценосный журавль <i>Balearica pavonina</i></b>	
17.	Длина междоузлий 50 мкм <b>Даурский журавль <i>G. vipio</i></b>	
18.	Длина междоузлий 55 мкм <b>Индийский журавль <i>G. antigone</i></b>	
19.	Длина междоузлий 43 мкм <b>Восточный венценосный журавль <i>Balearica regulorum</i></b>	

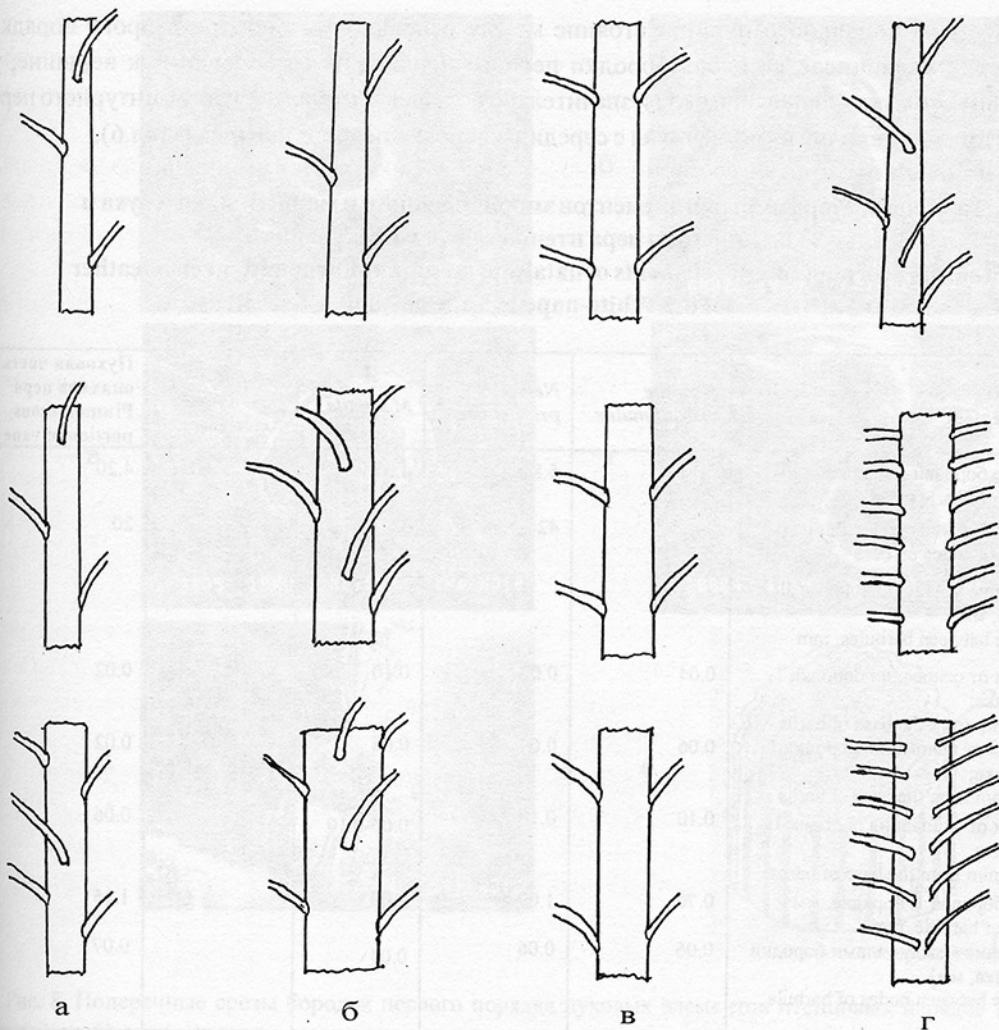


Рис. 7. Расположение боронок второго порядка на боронках первого порядка даурского журавля *Grus vipio*: а – *neoptile praep Plumulae*; б – *neoptile praepennaе*; в – *mesoptile*; г – пуховая часть опахала покровного пера. Верхний ряд – верхняя часть боронок первого порядка; средний ряд – средняя часть боронок первого порядка; нижний ряд – нижняя часть боронок первого порядка

Fig. 7. Location of barbules on the feather barbs of *Grus vipio*:

а – *neoptile praep Plumulae*; б – *neoptile praepennaе*; в – *mesoptile*; г – down part of the cover feather vane. Upper row – upper part of a barb; medium row – medium part of a barb; lower row – lower part of a barb

## 2.2.2. Эмбриональная и постэмбриональные генерации пуха

**2.2.2.1. Расположение боронок.** У птенца даурского журавля расположение боронок второго порядка на боронке первого порядка варьирует как в пухе одной, так и разных категорий (рис. 7). У *neoptile praep Plumulae* боронок второго порядка расположены поочередно от начала до вершины, вокруг оси боронок первого порядка. У *neoptile praepennaе* в нижней части боронок первого порядка они располагаются поочередно вокруг оси, а в верхней части — поочередно с двух сторон. У *mesoptile* боронок второго порядка расположены супротивно по бокам вдоль всей длины боронок первого. На пуховой части опахала контурного пера боронок второго порядка отходят попарно, на одной стороне нижней части боронок первого порядка, в средней части – супротивно по бокам, а в верхней четверти – вокруг оси боронок первого порядка.



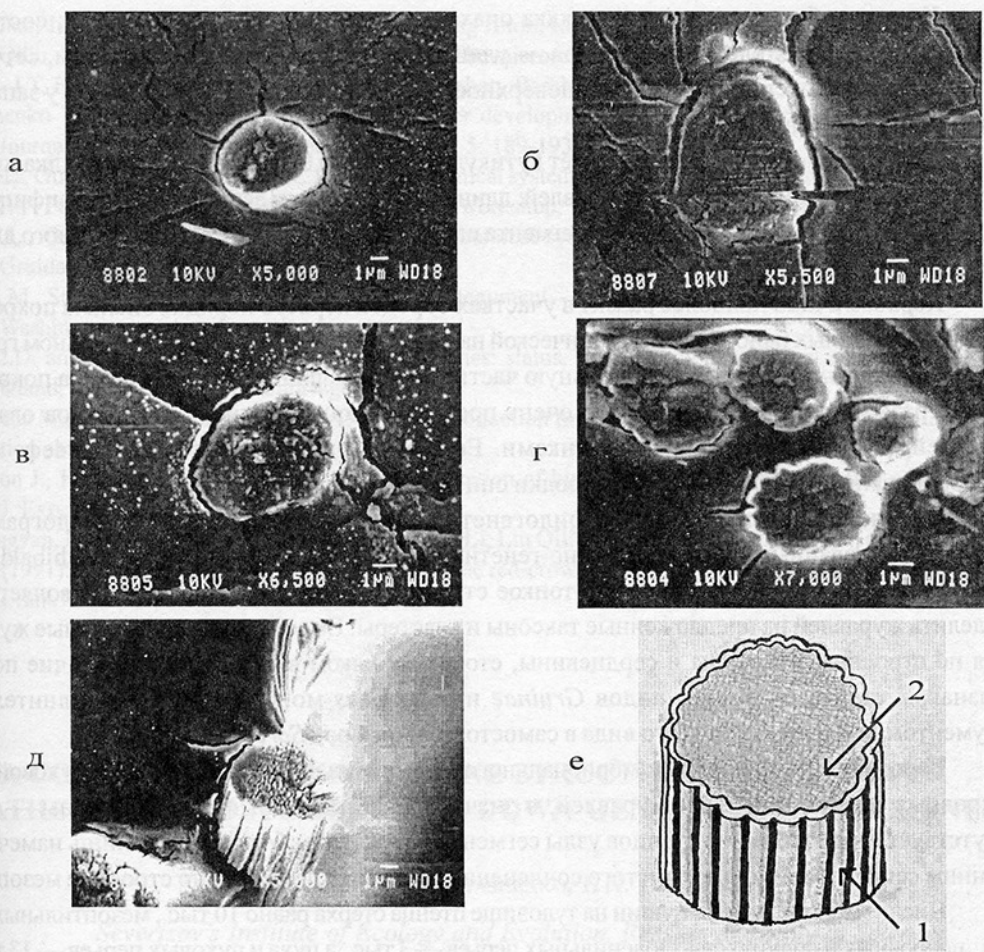


Рис. 8. Поперечные срезы боронок первого порядка пуховых элементов птенцовых нарядов даурского журавля *Grus vipio*:

а – эмбриональный пух *praep Plumulae*; б – эмбриональный пух *praepennae*; в – мезоптильный пух *praepennae*; г – дополнительное перо; д – пуховая часть покровного ювенильного пера; е – схема поперечного среза бородки первого порядка эмбрионального, мезоптильного пуха и пуховой части пера: 1 – кутикула, 2 – кора.

Fig. 8. Cross-sections of down barbs of a nestling *Grus vipio*:

а - *neoptile praep Plumulae*; б - *neoptile praepennae*; в - *mesoptile praepennae*; г - arteshaft; д - plumulaceous portion of vane of cover feather; е - cross-section scheme of natal, mesoptil and plumulaceous portion of vane of cover feather: 1 - cuticule, 2 - core.

поверхность пуха, безусловно, улучшают его прочность. Наличие щелей в корковом слое — результат сдавливания лаком при изготовлении препарата, однако оно свидетельствует, что бородка обладает определенной упругостью и эластичностью.

### Закключение

Тонкое строение элементов пера журавлей отличается невыраженной полиморфностью и простотой, что, возможно, указывает на древнее происхождение и относительную филогенетическую однородность семейства. Эти структуры не показывают высокого уровня специализации и не являются специфичными для семейства.

У эмбрионального пуха расстояние между основаниями бородок второго порядка равномерно увеличивается вдоль бородки первого порядка от ее основания к вершине, у мезоптильного пуха - оно одинаковое и значительно большее, а в пуховой части контурного пера это расстояние увеличивается, начиная с середины бородки первого порядка (табл.6).

**Таблица 6. Морфометрия элементов эмбрионального и мезоптильного пуха и ювенильного пера птенцов даурского журавля**  
**Table 6. Morphometry of elements of natal and mesoptile downs and juvenal feather of the White-naped Crane nestling**

Промер Measurement	<i>Neoptile praeplumulae</i>	<i>Neoptile praepennae</i>	<i>Mesoptile</i>	Дополни- тельное перо Afterfeather	Пуховая часть опахала пера Plumulaceous portion of vane
Диаметр бородки I порядка, мкм Diameter of barb, mkm	4.18	5.81	4.02	3.50	4.20
Число ребер на бородке I порядка Number of edges on barb	24	42	32	20	20
Расстояние между бородками II порядка, мм: Distance between barbules, mm					
в 2мм от основания бородки I порядка; in 2 mm from the base of barbs	0.04	0.02	0.10		0.02
в 4 мм от основания бородки I порядка; in 4 mm from the base of barbs	0.06	0.04	0.08		0.02
в 8мм от основания бородки I порядка in 8 mm from the base of barbs	0.10	0.10	0.06-0.10		0.06
Длина бородки II порядка, мм Length of barbule, mm	0.70	1.00	1.00		1.15
Расстояние между узлами бородки II порядка, мм) Distance between nodes of barbule, mm	0.06	0.06	0.04		0.07

Расстояние между узлами бородки второго порядка в рассматриваемом ряду наименьшее у мезоптильного пуха. Выросты на узлах эмбрионального и мезоптильного пуха не развиты.

Таким образом, с точки зрения обеспечения термоизоляции, наиболее выгодная конструкция у пуховой части опахала контурного пера, наименее - у мезоптиля. Именно такая конструкция оправдана энергетически, поскольку слой мезоптильной генерации пуха на туловище толще эмбриональной, быстро подстиляется слоем качественного ювенильного пуха и, наряду с термоизоляцией, по-видимому, служит защитой от механического истирания каймы контурных ювенильных перьев.

#### 2.2.2.2. Тонкое строение

Бородка первого порядка эмбрионального и мезоптильного пуха и пуховой части ювенильного пера птенцов даурского журавля представляет собой цилиндр, образованный тонким наружным кутикулярным слоем и заполненный плотным корковым слоем, в котором различимы трещины (рис.8). Сердцевина отсутствует. Наружная поверхность бородки покрыты равномерно утолщенными (толщиной 0,5-1,0 мкм) продольными ребрами, разделенными глубокими бороздками (толщиной не более 0,1 мкм) (рис.8). Эти ребра образованы не только кутикулой, но и заходящим в них корковым слоем. Число бороздок колеблется в пределах 20-42 и связано положительной корреляцией с толщиной бородки (табл.6). Плотный корковый слой и ребристая



*Кутикула* бородок первого порядка опахала покровных перьев мозаичная, состоит из пяти-шестиугольных клеток двух типов — удлинённых и уплощённых, с гладким, сетчатым, бугорчатым или ворсистым рельефом поверхности. Последний наиболее выражен у западного венценосного журавля.

Диагностическую ценность имеет кутикула сегментов бородок второго порядка пуховой части покровных перьев взрослых журавлей: длина междоузлий и асимметричная конфигурация узлов — разделение апикальной части сегмента на 3-4 выроста, один из которых немного длиннее остальных.

*Корковый слой* наиболее развит в участках бородок первого порядка опахала покровного пера, подверженных наибольшей механической нагрузке — на вентральном и дорзальном гребнях.

*Сердцевина* заполняет центральную часть бородок первого порядка опахала покровных перьев, развита хорошо, но устроена очень просто: состоит из одного-двух рядов овальных полостей, разделённых тонкими стенками. Её стенки имеют складчатый рельеф, иногда перфорированные. В нижней трети бородки они не содержат пигментных гранул.

Сравнение наших данных с филогенетическими построениями<sup>1</sup> и кладограммами журавлей, основанными на молекулярно-генетических исследованиях (Meine, Archibald, 1996; Incold et al., 1987a,b) показывает, что тонкое строение покровных перьев не позволяет четко разделить журавлей на предложенные таксоны и кластеры. Вместе с тем, венценосные журавли, судя по строению кутикулы и сердцевины, стоят особняком в семействе, а отличие по этим признакам стерха от других видов *Gruinae* и рода *Grus* могут служить дополнительным аргументом для выделения этого вида в самостоятельный род *Sarcogeranus*.

Бородки первого порядка эмбрионального и мезоптильного пуха птенцов и пуховой части покровных перьев взрослых журавлей, в значительной степени, генерализованы — в них отсутствует сердцевина, и у птенцов узлы сегментов не развиты. У последних лишь намечаются границы сегментов в виде волнистого сочленения. Наиболее примитивно строение мезоптилия.

Число эмбриональных пушин на туловище птенца стерха равно 10 тыс., мезоптильных — 12 тыс., покровных и полупуховых ювенильных перьев — 3 тыс., а пуха и пуховых перьев — 13 тыс.

### Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность С.М. Смиренскому, О.И. Роздиной, Т.А. Кашенцевой и П.С. Томковичу за содействие в работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ — грант НШ-1808.2003.4

### Литература

- Ильяшенко В.Ю. и Роздина О.И. 1986. Возрастные наряды и перьевые структуры джека. - Дрофы и пути их сохранения. Тр. ЦНИЛ Главохоты РСФСР. М.: 167-173
- Кашенцева Т.А. 1998. Структура и смена оперения у журавлей. - Дисс. соиск. уч. степени канд. биол. наук. М.
- Чернова О.Ф., Ильяшенко В.Ю., Перфилова Т.В. 2005. Архитектоника пера и её диагностическое значение. М.
- Brom T.G. 1986. Microscopic identification of feathers and feather fragments in Palearctic birds. - Bijdragen tot de Dierkunde (Contributions to zoology). 56, 27: 181-204.

<sup>1</sup> Семейство *Gruidae* подразделяют на *Balearicinae* (*Balearica pavonina*, *B. regulorum*) и *Gruinae* (*Anthropoides virgo*, *A. paradisea*; *Bugeranus carunculatus*; *Grus*), а род *Grus* — на четыре группы: особняком стоящие *G. canadensis* и *G. leucogeranus*, затем группу из трех видов — *G. antigone*, *G. rubicunda*, *G. vipio*, и, наконец, четвертую группу из *G. grus*, *G. americana*, *G. monacha*, *G. nigricollis*, *G. japonensis* (Meine, Archibald, 1996).

- Hang Fulan, Jing Songyan, Fan Xuchong, Li Yue, Zheng Jimin, Li Ning, Zhang Li, Xin Shuuyan, Li Fuhua, Liu Qiliu, Xie Binbin, and Song Zhenzhou (1991): The microscopic structure of the feather of cranes in China. - J.T. Harris (ed.): Proc. 1987 Int. Crane Workshop. Baraboo, Wis.: 173-178.
- Ilyashchenko V.Yu., and Rozdina O.I. (1992): Feather development in Hubara Bastards. - Bustards Studies, Journal of the ICBP Bustard Specialist Group, 5: 189-193.
- Incold J.L., Guttman S.I., Osborne D.R. 1987a. Biochemical systematics of the crowned cranes. - G.W. Archibald, R.F. Pasquier (eds.): Proc. the 1983 Int. Crane workshop, Washington, Baraboo.: 317-322.
- Incold J.L., Guttman S.I., Osborne D.R. 1987b. Biochemical systematics and evolution of the cranes (Aves: Gruidae). - Ibid: 575-584.
- Lucas A.M., Stettenheim P.R. 1972. Avian anatomy. Integument. - Agric. Handbook. Forest Serv. U.S. Parts 1,2. Washington.
- Meine C.D. and Archibald G.W. (eds.) 1996. The cranes: status, survey and conservation action plan. IUCN, Gland, Switzerland, and Cambridge. U.K.
- Moorehead W., Laferty P., Laybourne R. 1997. An introduction to microscopic feather identification. Presentation abstr. Inter/Micro 97, 21.
- Robertson J., Harkin K., Govan J. 1984. The identification of bird feathers. Scheme for feather examination. J. Exp. Biol. 24, 1: 85-98.
- Jing Songyan, Hang Fulan, Li Yue, Xin Shuyan, Zhang Li, Liu Qiliu, Li Fuhua, Song Zhenzhou, and Xie Binbin. (1991): Microscopic structure of the feather of the red-crowned crane. In: Harris J.T. (ed.): Proc. 1987 Int. Crane Workshop. Baraboo, Wis.: 165-172.

## A COMPARATIVE STUDY OF FINE STRUCTURE OF THE COVER FEATHERS AND POSTEMBRIONAL DOWN GENERATIONS OF CRANES

O. F. CHERNOVA, V.YU. ILYASHENKO, T. N. TZELIKOVA

*Severtzov's Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences  
Leninsky prospect, Moscow, 33119071, Russia. E-mail: chernova@sevin.ru*

### Summary

Using a scanning electronic microscope, the fine structure of the down part (as most informative) of the definitive cover feathers was studied in a comparative aspect. 12 crane species (*Gruidae*) were under this study: *Grus grus*, *G. rubicunda*, *G. nigricollis*, *G. canadensis*, *G. vipio*, *G. japonensis*, *G. leucogeranus*, *G. monacha*, *G. antigone*, *Anthropoides virgo*, *Balearica pavonina*, and *B. regulorum*. The quantity and fine structure of the postembrional down of *G. leucogeranus* and *G. vipio* nestlings were described. 26 other bird species were studied for comparison.

The cross-section configuration, structure of barbs and barbules and their cuticle, core and medulla were described. Some features of these structures are specific for cranes (cross-section configuration), but others (cuticle ornamentation, size and relief of cuticular "cells") are similar to other bird species and have no diagnostic value. The developmental degree and simple structure of the medulla reflect the ancient origin of cranes. The size and configuration of the barbule cuticle scales (nodes and internodes) of the down part of the cover feathers have diagnostic significance.

**Key words:** cranes, feather structure.