ISSN 1026-5627
*Русский орнитологический журнал 2019, Том 28, Экспресс-выпуск **1811**: 3883-3889*

О щелевом строении вершины крыла у ястребиных птиц

В.Э.Якоби

Второе издание. Первая публикация в 1959[*]

Разрезная вершина крыла ястребиных птиц, образуемая пальцеобразно расставленными первостепенными маховыми перьями, представляет большой интерес с точки зрения теории машущего полёта и аэродинамики.

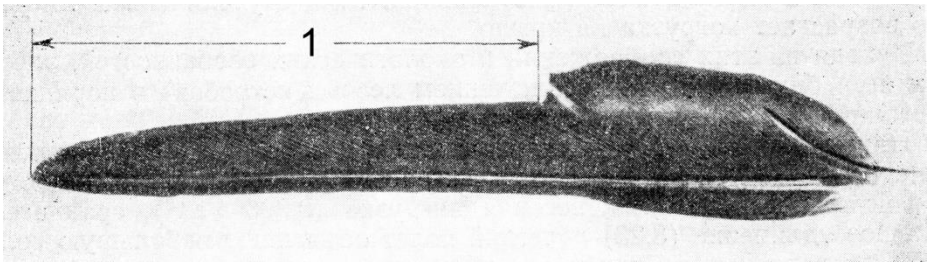
Грехем (Graham 1932) и Лахман (Lachman 1932) весьма подробно разобрали вопрос о функциональном назначении разрезной вершины крыла птиц, считая её эквивалентной многоразрезному аэропланному крылу. Для последнего академик С.А.Чаплыгин ещё в 1914 году теоретически вычислил, что оно может создавать бóльшую, чем обычное крыло, подъёмную силу за счёт увеличения критического угла атаки с 12° для неразрезного крыла до 19° для многоразрезного крыла.

Хендли-Пейдж (по: Graham 1932), построил и испытал модель крыла с семью щелями, расположенными так же, как у птиц. По данным этого автора, при угле атаки 42° подъёмная сила крыла со щелевой вершиной в 2.5 раза больше подъёмной силы крыла со сплошной вершиной. По Грехему (1932), разрезная вершина крыла обеспечивает безопасность полёта путём автоматической установки опахал пера под таким углом атаки, при котором не возникает вредных для крыла завихрений воздуха. По Лахману (1932), щелевое устройство вершины крыла птиц увеличивает подъёмную силу крыла и наиболее действенно при быстром полете или крутом спуске. М.К.Тихонравов (1949), сравнивая разрезную вершину крыла канюка и многоразрезное крыло самолёта, замечает, что они не подобны друг другу. Г.С.Шестакова (1953) экспериментально показала, что разрезная вершина при некоторых режимах полёта увеличивает подъёмную силу крыла.

Мы применили эколого-морфологический анализ при изучении функции разрезной вершины крыла у ястребиных птиц. Вершина крыла ястребиных может быть уподоблена многоразрезному крылу самолёта лишь тогда, когда давление воздуха снизу на широкие внутренние опахала вырезанных и широко расставленных первостепенных маховых изгибает и перекручивает их. Такой изгиб и перекручивание маховых мы наблюдали у пролетавшего вблизи чёрного грифа. То же отмечается при взлёте и посадке. Изгиб и перекручивание маховых

[*] Якоби В.Э. 1959. О щелевом строении вершины крыла у ястребиных птиц // *Зоол. журн.* **38**, 12: 1850-1855.

возможны лишь в той их части, где имеется вырезка или сужение опахала. Следовательно, чем больше длина вырезки опахала и чем большее число маховых имеют вырезки на опахалах, тем более разрезной, щелевой является вершина крыла. Вместе с тем, чем больше расставлены маховые перья, показателем чего у ястребиных птиц являются вырезки опахал, тем менее острую вершину имеет крыло. Сравнивая степень вырезанности опахал маховых и количество маховых с вырезками опахал у ястребиных птиц, разнящихся по экологии, можно судить о функции разрезной вершины крыла у этих птиц. Для выяснения функционального значения вырезанности опахал в ряду ястребиных птиц мы провели измерение длины вырезки внутренних опахал первостепенных маховых перьев у разных видов птиц. Длина вырезки бралась от конца расширенного проксимального отдела опахала до вершины крыла (см. рисунок). Подобные измерения проводились Грехемом (1932).



Измерение длины вырезки (1) от конца расширенного проксимального отдела опахала до вершины крыла.

Для сравнения степени вырезанности первостепенных маховых перьев у рассматриваемых видов ястребиных птиц было взято отношение длины вырезки внутреннего опахала (1) к длине кистевого отдела крыла (расстояние между передним краем кистевого сгиба сложенного крыла и вершиной крыла). Это отношение названо индексом глубины вырезки опахала первостепенных маховых и будет в дальнейшем фигурировать при сравнении вырезанности первостепенных маховых перьев у разных ястребиных птиц. Другой использованный индекс – индекс суммы вырезок (отношение суммы длин вырезок внутренних опахал к длине кистевого отдела крыла) даёт некоторую отвлечённую цифру, показывающую суммарную вырезанность крыла. Для сравнения брались средние индексы глубины вырезки и средние индексы суммы вырезок.

Полученные данные сведены в таблицу, где ястребиные птицы, за исключением лесных ястребов, расположены в порядке увеличения индекса суммы вырезок внутренних опахал первостепенных маховых перьев. Из таблицы видно, что по количеству маховых с вырезками можно различить 4 группы ястребиных. Степной лунь *Circus macrourus* и окопа *Pandion haliaetus* имеют три маховых с вырезками внут-

ренних опахал, канюк *Buteo buteo*, осоед *Pernis apivorus*, болотный лунь *Circus aeruginosus*, тетеревятник *Accipiter gentilis*, перепелятник *Accipiter nisus* и чёрный коршун *Milvus migrans* – пять, а орлы и чёрный гриф *Aegypius monachus* – шесть. Величину индекса суммы вырезок, или суммарную вырезанность вершины крыла, определяет прежде всего количество маховых с вырезками на опахалах. Кроме того, при одинаковом количестве вырезанных маховых на величину индекса суммы вырезок влияют различные размеры вырезки на одних и тех же маховых.

Индекс вырезанности опахал первостепенных маховых

Виды птиц	Число экз.	Нагрузка	Удлинение	Индексы глубины вырезки внутренних опахал первостепенных маховых						Индекс суммы вырезок внутренних опахал
				I	II	III	IV	V	VI	
Circus macrourus	41	0.304	8.24	0.214	0.248	0.240	–	–	–	0.702
Pandion haliaetus	20	0.557	–	0.278	0.309	0.278	–	–	–	0.865
Buteo buteo	39	0.214	7.7	0.214	0.259	0.268	0.234	–	–	0.975
Pernis apivorus	39	0.417	7.5	0.244	0.279	0.281	0.231	–	–	1.035
Circus aeruginosus	32	0.344	8.43	0.248	0.287	0.282	0.260	–	–	1.077
Milvus migrans	38	0.374	8.07	0.229	0.301	0.332	0.301	0.244	–	1.407
Hieraaetus pennatus	24	0.477	7.9	0.223	0.300	0.335	0.323	0.290	0.143*	1.614 (1.471)
Aquila pomarina	22	0.511	8.05	0.259	0.312	0.327	0.316	0.291	0.226	1.731
Aquila nipalensis	24	0.699	8.66	0.262	0.318	0.329	0.318	0.293	0.245	1.765
Aegypius monachus	5	0.766	9.8	0.389	0.458	0.454	0.426	0.375	0.303	2.406
Accipiter gentilis	46	0.634	7.74	0.213	0.269	0.288	0.270	0.236	–	1.276
Accipiter nisus	36	0.283	7.48	0.219	0.292	0.328	0.325	0.292	–	1.456

* – Вырезка внутреннего опахала VI махового не всегда имеется, поэтому индекс суммы варьирует.

Орлы и грифы, которые часто и долго парят, что является у них приспособлением для добывания пищи, имеют сильно разрезную вершину крыла (таблица). Хуже парящие луни, лесные ястребы, осоед, канюк, скопа имеют меньший индекс суммы вырезок. Таким образом, сравнение лётных способностей птиц и морфологических особенностей их крыльев показывает, что вырезанность опахал маховых является приспособлением к парению.

Лётные качества птиц связаны с нагрузкой, удлинением и размерами птицы. Чем больше нагрузка на крыло (вес птицы в г, отнесённый к площади обоих крыльев в см^2), тем большая подъёмная сила

нужна для поддержания птицы в полёте. Вес птицы связан с её размерами. У близких в систематическом отношении птиц с увеличением их размеров возрастает нагрузка на крыло.

Исходя из этих соображений и экологических особенностей, рассмотрим ястребиных птиц (за исключением лесных ястребов) в порядке возрастания индекса суммы вырезок.

Наименьший индекс суммы вырезок внутренних опахал имеет степной лунь (0.702). Минимальная для всех рассматриваемых ястребиных птиц, не считая перепелятника, весовая нагрузка (0.306 г/см^2), сравнительно большое удлинение (8.23) и лёгкий полёт объясняют небольшую величину этого индекса, так как нет необходимости в дополнительной подъёмной силе, образуемой разрезным крылом.

Большая нагрузка (0.557 г/см^2 – вычислено по: J.Storer 1948) и характерная особенность полёта скопы – её «трепетание», стояние на месте в воздухе, требует большей подъёмной силы, а следовательно, и более разрезного крыла. И действительно, у скопы наблюдается глубокая вырезанность опахал первостепенных маховых перьев, правда только трёх, но величина индексов вырезки внутренних опахал этих маховых у скопы близка к таковой у орлов. Индекс вырезки внутреннего опахала у первого махового скопы самый большой среди ястребиных птиц, за исключением чёрного грифа. Это, по-видимому, связано с тем, что в многоразрезном крыле максимальную подъёмную силу создаёт первая щель. Образующееся в результате изгибания маховых многоразрезное крыло у скопы, видимо, обеспечивает при трепетании достаточную подъёмную силу. Жёсткость опахал и их большая вырезанность являются адаптацией крыльев к добыванию рыбы, которое часто связано с нырянием в воду. Такие перья, независимо от того, сухие они или мокрые, создают многоразрезное крыло, необходимое для увеличения подъёмной силы при взлёте из воды. Того же мнения придерживается и Сторер (Storer 1948).

Очень близки индексы суммы вырезок у канюка и осоеда (таблица), причём у первого они немного меньше, чем у второго (0.975 и 1.036). Оба эти вида проводят много времени, охотясь на земле, и часто летают машущим полётом, особенно при охоте в лесу. Это обусловливает сравнительно небольшую вырезанность опахал первостепенных маховых перьев, позволяющую, однако, когда это необходимо, совершать парящие полёты. Сходный тип полёта канюка и осоеда и одинаковая весовая нагрузка объясняют близкую величину индексов вырезки опахал маховых этих птиц.

Может показаться несколько странным индекс суммы вырезок опахал болотного луня. Но если сравнить сходных по способу добывания пищи болотного и степного луней, то окажется, что болотный лунь, больший по размеру, чем степной, имеет и большую весовую нагрузку

(0.344 и 0.304 г/см^2, соответственно). Это объясняет появление ещё одной вырезки на внутреннем опахале четвертых и наружном опахале пятых первостепенных маховых у болотного луня.

Из ястребиных птиц, живущих на открытых местах (исключая орлов), чёрный коршун имеет наибольшую вырезанность опахал. Для облёта больших площадей в поисках пищи он применяет преимущественно парящий полёт, в меньшей степени, чем орлы, но значительно чаще, чем, например, луни. Важно отметить, что такая большая вырезанность опахал чёрного коршуна создаёт разрезное крыло с большой подъёмной силой, достаточной для использования восходящих токов воздуха при длительном парящем полёте в поисках пищи.

Следующая рассмотренная группа – орлы и чёрный гриф – вполне подчиняется выявленным ранее общим закономерностям: вырезанность крыла у этих птиц возрастает с увеличением способности к парению, весовой нагрузки и размеров птицы. Из орлов минимальный индекс суммы вырезок имеет орёл-карлик *Hieraaetus pennatus*, наиболее мелкий по размерам. Прекрасный паритель он, однако, нередко летает машущим полётом.

Малый подорлик *Aquila pomarina* имеет значительные размеры и большую весовую нагрузку на крыло. Соответственно этому бóльшая, по сравнению с орлом-карликом, вырезанность вершины крыла обеспечивает ему увеличение подъёмной силы крыла при парении.

Степной орёл *Aquila nipalensis* – прекрасный паритель. Нагрузка на крылья и размеры у него больше, чем у ранее рассмотренных ястребиных-парителей. Это обусловливает необходимость увеличения подъёмной силы крыла, что и достигается более разрезной его вершиной.

Крайнее выражение приспособления к парению можно видеть у чёрного грифа. Одновременно с увеличением размеров тела, нагрузки и удлинения при том же, что и у степного орла, числе первостепенных маховых с вырезками, у чёрного грифа резко возрастает длина последних, а следовательно, и индекс суммы вырезок, который достигает величины 2.406 для вырезок внутренних опахал. Сильная разрезанность вершины крыла не только увеличивает его подъёмную силу, но и позволяет ему использовать сильные восходящие токи воздуха в горах, поскольку разрезное устройство увеличивает боковую управляемость и устойчивость полёта. В меньшей степени это относится к орлам.

У лесных ястребов – тетеревятника и перепелятника разрезная вершина крыла функционирует иначе и адаптирована к иным условиям, чем у ранее рассмотренных ястребиных. Перепелятник и тетеревятник имеют сравнительно большой индекс вырезанности опахал (таблица). Такую большую вырезанность опахал нельзя объяснить приспособлением к парению, так как и перепелятник и тетеревятник летают парящим полётом очень редко. Нельзя объяснить такой индекс

суммы вырезок опахал различиями в весовой нагрузке, как мы объясняли это раньше. Тетеревятник имеет весовую нагрузку в два с лишним раза больше, чем перепелятник, а индекс суммы вырезок у последнего больше. То же можно сказать о размерах птиц (тетеревятник значительно больше перепелятника, а вырезанность опахал у него меньше). По-видимому, единственным объяснением может служит их особый тип полёта. Частые, а главное стремительные взлёты, частые посадки, большая маневренность полёта и способность развивать значительную скорость на небольшом отрезке пути, чтобы быстро схватить добычу, наиболее характерно для этих ястребов. Довольно глубоко вырезанные опахала и большое число маховых с вырезками опахал, увеличивая подъёмную силу, облегчают стремительные взлёты и частые посадки этих ястребов. Одновременно с увеличением подъёмной силы крыла при больших углах атаки, многоразрезное крыло создаёт большее лобовое сопротивление, чем неразрезное. Увеличенное лобовое сопротивление в данном случае способствует маневренности полёта. Взмахом одного крыла с большим лобовым сопротивлением ястреб может резко повернуть в сторону во время полёта. Постановка обоих крыльев под большим углом атаки даёт резкое торможение, а поскольку крыло разрезное, при этом не будут возникать вредные завихрения. Если при взлёте, посадке и резком торможении необходима большая подъёмная сила, а следовательно, и разрезное крыло, то при быстром полёте разрезное крыло будет создавать дополнительное лобовое сопротивление. Появляющееся противоречие разрешается бóльшим, чем у всех других ястребиных птиц, развитием опускающей крыло большой грудной мышцы и особенно – развитием поднимающей крыло подключичной мышцы. Мощное развитие лётных мышц позволяет тетеревятнику и перепелятнику совершать при помощи частых взмахов крыльев довольно продолжительные полёты (облёт охотничьего участка, перелёты перепелятника) с меньшей скоростью, чем при погоне за добычей. Известную аналогию с тетеревятником и перепелятником представляют некоторые куриные, у которых имеется хорошо развитая летательная мускулатура. Обстоятельный морфо-функциональный разбор приспособлений к полёту внутри отряда куриных птиц (Штегман 1950) показал, что чем более стремительным и крутым взлётом, а также большей маневренностью обладает птица (фазан *Phasianus colchicus)*, тем более развиты пропеллирующие маховые (т.е. более вырезаны) и более веерообразно расставлены опахала первостепенных маховых. Одновременно с этим наблюдается более сильное развитие лётной мускулатуры. С увеличением продолжительности и быстроты полёта за счёт маневренности и стремительности взлёта уменьшаются или исчезают (перепел *Coturnix coturnix)* вырезки на первостепенных маховых, мускулатура же по-прежнему бывает сильно

развита. Наоборот, с утратой способности активного полёта, а также крутого стремительного взлёта, уменьшается вырезанность опахал и ухудшается развитие мускулатуры. То же самое можно сказать о тетеревятнике и перепелятнике при сравнении их с другими ястребиными (лунями, канюком, осоедом, чёрным коршуном). Способность к быстрому стремительному взлёту обусловила сильную вырезанность опахал первостепенных маховых и сильное развитие мускулатуры крыла перепелятника и тетеревятника.

Выводы

1. Вследствие вырезанности опахал первостепенных маховых перьев вершинная часть крыла состоит из пальцеобразно расставленных перьев.

2. При давлении воздуха снизу изгибающиеся и перекручивающиеся пальцеобразно расставленные маховые создают многоразрезное крыло, которое увеличивает подъёмную силу крыла в некоторые моменты полёта.

3. У рассмотренных ястребиных птиц вырезанность опахал первостепенных маховых является приспособлением к парящему полёту, а также к быстрым и частым взлётам и увеличению маневренности полёта (тетеревятник и перепелятник). В первом случае относительная длина вырезки возрастает с увеличением размера, весовой нагрузки и способности к парению.

4. Сильно разрезанная вершина крыла увеличивает боковую управляемость и устойчивость полёта, позволяя использовать мощные восходящие токи воздуха.

5. У скопы отмечается интересное сочетание приспособления к ловле добычи в воде и трепетанию на месте, а именно: относительно большая нагрузка, жёсткие первостепенные маховые перья и сравнительно большие вырезки, но лишь на опахалах трёх маховых.

Литература

Тихонравов М.К. 1949. *Полёт птиц и машины с машущими крыльями*. М.: 1-208.

Шестакова Г.С. 1953. К вопросу о проницаемости крыла (экспериментальные исследования полёта птиц) // *Тр. Ин-та морфол. животных АН СССР* **9**: 14-31.

Штегман Б.К. 1950. Исследования о полете птиц. I. О лётных способностях куриных птиц // *Памяти акад. П.П.Сушкина*. М.; Л.: 237-265.

Graham R.R. 1932. Safety devices in wings of birds // *J. R. aeronaut. Soc.* **36**, 253: 24-58.

Lachman G.V. 1932. Slots and the wings of birds // *J. Roy. Aeronaut. Soc.* **36**, 256: 374-379.

Storer J. 1948. The flight of birds // *Cranbrook Institute of Sci. Bull.* **28**.