

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.П. Астафьева»
(КГПУ им. В.П. Астафьева)

ФАКУЛЬТЕТ БИОЛОГИИ, ГЕОГРАФИИ И ХИМИИ
Выпускающая кафедра биологии, химии и экологии

Матюнина Александра Александровна

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**Хрестоматийные материалы для дополнительного чтения
школьников темы «Биофизические основы полета птиц»**

Направление подготовки: 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя
профилями подготовки)

Направленность (профиль) образовательной программы География и биология

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой д.б.н., профессор Е.М. Антипова

« ____ » _____ 2019г. _____

(дата, подпись)

Руководитель д.б.н., профессор А.А. Баранов

« ____ » _____ 2019г. _____

(дата, подпись)

Дата защиты «27» июня 2019г.

Обучающийся А.А. Матюнина

(подпись)

Оценка _____

(прописью)

Красноярск 2019

Оглавление

Реферат.....	4
Введение	5
ГЛАВА 1. ПОЛЁТ КАК СПОСОБ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ РАЗНЫХ ГРУПП ЖИВОТНЫХ И ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПОЛЁТА У ПТИЦ.....	8
1.1. Полёт как способ передвижения позвоночных и беспозвоночных животных	8
<i>1.1.1. Беспозвоночные животные, приспособленные к полету.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.2. Позвоночные животные, адаптированные к полету</i>	<i>13</i>
1.2. Гипотезы происхождения полета у птиц.....	18
ГЛАВА 2. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПТИЦ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЕТОМ.....	24
2.1. Общие адаптации систем органов птицы к полету	24
2.2. Скелет птицы.....	31
<i>2.2.1. Строение черепа и позвоночника у птиц.....</i>	<i>32</i>
<i>2.2.2. Грудная клетка птиц.....</i>	<i>35</i>
<i>2.2.3. Устройство ног птиц.....</i>	<i>36</i>
2.3. Скелет крыла птиц.....	40
2.4. Перьевой покров птиц.....	47
2.5. Форма крыльев и обтекание крыльев потоками воздуха.....	54
<i>2.5.1. Форма крыльев птиц.....</i>	<i>54</i>
<i>2.5.2. Влияние перьев на обтекание крыльев потоками воздуха при полете.....</i>	<i>56</i>
ГЛАВА 3. БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛЕТА	61
3.1. Подъемная сила и угол атаки.....	61
3.2. Сила тяги и центр тяжести тела	67
3.3. Режимы полёта птиц.....	74
<i>3.3.1. Этапы полёта: взлёт и приземление.....</i>	<i>74</i>
<i>3.3.2. Типы полета птиц.....</i>	<i>77</i>
Выводы	83
Библиографический список	84

Приложение 1 87

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 глав и выводов. Введение знакомит с актуальностью работы, которая заключается в неполном изучении в курсе школьной биологии темы «Полет птиц» из-за нехватки часов, представленных учебным планом, и несовпадения изучаемых тем по физике и биологии, а также формулируются цель, задачи работы.

Первая глава способствует выявлению животных, которые обладают способностями к пассивному и активному полету. Осуществляется краткий обзор гипотез происхождения полета у птиц.

Во второй главе рассматриваются морфофункциональные преобразования птиц, связанные с полетом. Представлено подробное описание скелета крыла птиц, перьевого покрова, особенностей скелета птиц, а также устанавливается взаимосвязь между формами крыльев и образом жизни птицы.

Основы аэродинамики, обеспечивающие полет птицы, выявлены в третьей главе: подъемная сила, сила тяги, угол атаки, сила тяжести. Определены структурные элементы крыла, отвечающие за формирование той или иной силы. Описаны режимы полёта птиц: этапы взлёта и типы полёта.

Изучение данных хрестоматийных материалов позволяет осуществлять более глубокое освоение биофизических основ полета птиц, его разнообразие и механизмы. Содержание и структура разделов являются доступными для самостоятельного изучения обучающимися предложенной темы.

Методологической основой исследования стали фундаментальные научные труды отечественных и зарубежных учёных в области биофизики и биомеханики: Шестакова Г.С. «Строение крыльев и механика полета птиц», Виноградов И.Н. «Аэродинамика птиц-парителей», Александер. Р. «Биомеханика», Казневский В.П. «Аэродинамика в природе и технике», Якоби В.Э. «Механизация и автоматика крыла птиц».

Введение

Загадка полета птиц давно волнует умы многих людей. Начиная с давних времен, люди пытались соорудить летательные аппараты, которые помогли бы им держаться в воздухе и осуществить полет. Но первые подобные попытки не имели большого успеха. Конечно, со временем люди научились строить надежные летательные аппараты, которые позволяют преодолевать большие расстояния максимально быстро. Но смогли бы люди изобрести подобную технику, если бы они не взяли за основу наблюдения и исследования полета птиц? Ведь именно основы полета птиц позволили людям достичь успеха в авиационной промышленности.

Если спросить современного человека о том, что движет самолетом и что его заставляет подниматься вверх, то можно будет услышать в общих чертах верный ответ. Каждый знает, что самолет, как и любая другая машина, имеет двигатель, который позволяет развивать силы, необходимые для движения. Двигатель самолета позволяет летательному аппарату развивать скорость, а скорость, в свою очередь, с помощью крыльев создает подъемную силу, которая поднимает самолет вверх. Винты самолета, которые также начинают работать при включении двигателя, создают силу тяги, продвигающую самолет вперед. Становится очевидно то, что в движении самолета его внутреннее и внешнее строение играет одну из самых важных ролей – и подобный ответ даст каждый опрошиваемый. Но если спросить о том, что позволяет птицам передвигаться в воздушном пространстве и какие силы влияют на их полет, то многие ответить не смогут. Да, птицы имеют крылья, но они не имеют механического двигателя, который бы помогал им развивать подъемную силу, а также птицы не имеют винтов, которые образуют силу тяги для движения вперед. Следовательно, птицы имеют какие-то другие механизмы для осуществления полета, но какие? Для многих людей это остается загадкой. И все эти пробелы в знаниях определены тем, что подобные вопросы не изучаются в школе.

Тема «Полет птиц» в разделе школьной биологии изучается в неполном объеме по ряду причин. Во-первых, малое количество часов (4-8 часов в

зависимости от учебного плана), выделяемых на изучение раздела «Птицы», не позволяет акцентировать внимание на теме полета или же вынуждает учителя вовсе не включать эту тему в содержание уроков. Во-вторых, несовпадение изучаемых тем по физике и по биологии: раздел «Птицы» изучается школьниками или в 7 классе по концентрическому курсу или в 8 по линейному. Основы аэродинамики на уроках физики начинают изучать в 8 классе и продолжают в 9 и изучаются дробно: темы разбиты на 2 года обучения и в содержании тем не заложено рассмотрение аэродинамических сил на примере полета птиц. На основе этого тема данной работы является актуальной для изучения в курсе школьной биологии. И, конечно, такая интересная тема не должна быть упущена школьниками при обучении. Необходимы альтернативы, которые позволили бы обучающимся самостоятельно и доступно изучить данный вопрос.

Цель выпускной квалификационной работы - разработка хрестоматийных материалов для дополнительного изучения школьниками темы «Биофизические основы полета птиц».

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Выявить представителей различных групп беспозвоночных и позвоночных животных, обладающих способностями к полету;
2. Рассмотреть морфофункциональные преобразования, связанные с полетом птиц;
3. Выявить основы аэродинамики, обеспечивающие полёт птиц;
4. Разработать методическое сопровождение содержания и структуру хрестоматийных материалов по теме «Биофизические основы полета птиц».

Структура хрестоматийных материалов состоит из 3 глав и 12 разделов.

Методическое сопровождение содержания каждого раздела имеет следующую структуру: постановка познавательных задач на изучение данного материала; содержание материала по изучаемой теме; задания на самоконтроль по разделу; рекомендуемая литература по данной теме для дополнительного

чтения. Приложение 1 содержит ответы заданий на самоконтроль. Для удобной ориентировки при работе с хрестоматийными материалами была разработана система сигналов-символов:

 - понятие, которое следует запомнить;

 - понятие, которое следует вспомнить;

 - постановка познавательных задач на изучение данного материала;

 - задание, которое подразумевает развернутый письменный ответ;

 - задание, в котором нужно дать краткий ответ;

 - задание практического характера;

 - тестовое задание с выбором ответа;

 - задание на соответствие;

 - задание на установление последовательности;

 - задание, предполагающее работу со схемой;

 - рекомендуемая литература для дополнительного чтения.

Слова благодарности и глубокую признательность выражаю научному руководителю, профессору, доктору биологических наук Баранову Александру Алексеевичу за наставления и обсуждения вопросов, за точность замечаний и советов, за систематичность консультаций и помощь в написании выпускной квалификационной работы, а также выражаю благодарность кандидату биологических наук, доценту кафедры биологии, химии и экологии Банниковой Ксении Константиновне за помощь в поиске и обработке информации при написании данной работы.

ГЛАВА 1. ПОЛЁТ КАК СПОСОБ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ РАЗНЫХ ГРУПП ЖИВОТНЫХ И ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПОЛЁТА У ПТИЦ

Полет – это самостоятельное перемещение объекта в газообразной среде или вакууме. Стремление к полету свойственно живым организмам. Для насекомых, рукокрылых и птиц полет является всем смыслом жизни. И это неудивительно, ведь в воздухе можно выделить целый ряд преимуществ.

Принято выделять два основных вида полета: активный, который подразумевает приложение силы для выполнения летательного действия, и пассивный, при котором животное не прикладывает какую-либо силу для реализации полета. Представителей пассивного полета в разы больше, чем участников полета активного.

Несмотря на то, что полет характерен для ряда групп животных, самым совершенным обладают представители класса «Птицы». В данной главе более подробно будет рассмотрен этот вопрос.

1.1. Полёт как способ передвижения позвоночных и беспозвоночных животных

✓ В данном разделе вы узнаете:

1. *Отличия активного полета и пассивного;*
2. *Животных, способных осуществлять летательные действия;*
3. *Адаптации летающих животных к полету;*
4. *Новое понятие «воздушная локомоция».*

Как уже было сказано выше, полет характерен для многих животных и является необходимой частью их существования. Полет обладает рядом преимуществ. Первое преимущество: в воздухе безопаснее, чем на земле или в водной среде. Связано это и с неприспособленностью к полету большинства

хищников и с тем, что большинство природных явлений (пожар, наводнение, землетрясения и вулканизм и другие) на больших высотах не имеют никакого воздействия на среду. Стоит отметить и тот факт, что антропогенное воздействие на воздушное пространство также невелико, что благоприятно сказывается на мирном существовании животных.

Второе преимущество выражено тем, что воздушная среда предоставляет дополнительные возможности для движения, которые не требуют приложения усилий со стороны животного. Так, например, потоки восходящего и нисходящего воздуха позволяют некоторым животным без затрат энергии и сил перемещаться в воздушном пространстве.

Третье преимущество и, вероятно, самое важное: это возможность перемещения на большие расстояния за короткое время. Например, представители отряда стрекозы являются самыми быстрыми насекомыми и передвигаются со скоростью 30 км/ч. А сокол - сапсан (*Falco peregrines*) самая быстрая птица планеты, развивает скорость до 322 км/ч.

Стоит выделить еще одно преимущество, которое характерно для растений: воздушная среда, с помощью

ветра, позволяет многим растениям распространять плоды и семена для дальнейшего их развития. Кроме того ветер способен разносить семена и плоды на дальние расстояния, что способствует расширению ареала обитания различных растений.

Передвижение животных в пространстве принято называть локомоцией, а полет можно обозначить как *воздушная локомоция*.

Развитие воздушной локомоции у животных происходило двумя путями: или активным или пассивным. Активный путь выражен полетом с приложением силы (с взмахами крыльев), а пассивный путь – планирование в воздухе за счет воздушных потоков, при котором крылья животных находятся в неподвижном состоянии.

Животные, приспособленные к активному полету и планированию, развивались самостоятельно и многократно, без общего для всех предка. Полет развился четыре раза — у насекомых, птерозавров, птиц и рукокрылых. В значительно большем количестве случаев развивалось планирование. Как правило, развитию планирования способствовала необходимость животным, обитающим в пологах леса, передвигаться от дерева к дереву. К таким животным можно отнести белку-летягу (*Pteromysvolans*), карликового летучего кускуса (*Acrobatespygmaeus*) (рис.1).



Рисунок 1 – карликовый летучий кукус (*Acrobatespygmaeus*) в полете

Однако есть и другие случаи, которые способствовали этому явлению. Например, планирование развилось у животных тропических лесов, особенно в дождевых лесах Азии (в первую очередь на Калимантане), где деревья высоки и

расположены на существенном расстоянии друг от друга. Планирование в данном случае позволяет животным быстро перемещаться с дерева на дерево. Яркими примерами подобного явления можно назвать ящериц рода летучие драконы или веслоногих лягушек. Несколько видов морских животных и несколько амфибий также развили способность к планированию, как правило, в попытке избежать хищников. К таким животным можно отнести ската рода мобула и летучих рыб (рис.2).

С точки зрения изучения особенностей полета большой интерес имеет активный полет, так как для его реализации необходим ряд адаптаций, которые позволили бы образовать необходимые аэродинамические силы для осуществления летательного действия. В настоящее время активным полетом обладают представители трех классов животных: класс «Насекомые» подкласс «Крылатые насекомые», класс «Млекопитающие» отряд «Рукокрылые» и класс «Птицы». Интересен тот факт, что абсолютно все представители последнего класса имеют адаптации для реализации полета, независимо от того, используют ли они его по назначению.



Рисунок 2 – летучая рыба во время планирования

1.1.1. *Беспозвоночные животные, приспособленные к полету.* Среди **членистоногих** лидирующие позиции в освоении воздушного пространства занимает класс «Насекомые», в котором летательными способностями обладает подкласс «Крылатые насекомые». Их насчитывают около 1 млн. видов: стрекозы, бабочки, всевозможные жуки, мухи, комары и множество других летающих насекомых. Есть среди этих насекомых и свои рекорсмены: так,

например, стрекоза-дозорщик (*Anaximperator*) из семейства коромысел не отставала от тихоходного самолета, летевшего со скоростью 144 км/ч. А американская бабочка способна осуществлять (*Hyrphantriacunea*) полет с дальностью 4000 км, осуществляя при этом небольшие промежуточные посадки. А некоторые насекомые способны создавать достаточную для полета аэродинамическую силу при подъеме на большую высоту, несмотря на разреженность воздуха. Так, бабочка-крапивница (*Aglaisurticae*) способна в седловину Эльбруса на высоту 5300 м.

Основными локомоторными органами, позволяющими осуществлять полет насекомым, являются крылья. Крылья насекомых имеют самые разнообразные формы в зависимости от выполнения различных функций. Бабочки имеют крылья, как правило, широкие и с закругленными концами, что позволяет им скользить от цветка к цветку как можно легче (рис.3). А, например, у большинства мух узкие крылья приспособлены для лавирования и продолжительного порхания.

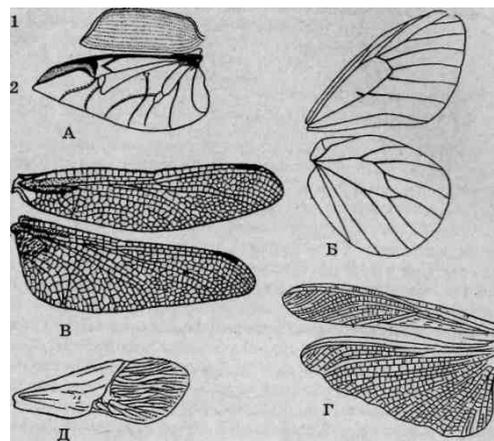


Рисунок 3 - основные типы крыльев насекомых: А— жуков: 1— жесткие; 2— перепончатые; Б— чешуекрылых: чешуйчатые; В— стрекоз: сетчатые; Г—прямокрылых: кожистые; Д— полужесткокрылых: полужесткие.

Крылатые насекомые при полете используют как активный, так и пассивный полет. А вот животные отряда «Пауки» используют пассивный способ полета, называемый «парашютизм». Молодняк отдельных видов путешествует на дальние расстояния за счет движения их паутин по ветру.

Есть и необычные представители полета среди беспозвоночных: так, например, животные типа **моллюски**, а именно летучие кальмары (рис.4), способны планировать небольшое количество времени над водой. Выпрыгивая из воды, они осуществляют небольшой полет, спасаясь, как правило, от хищников. Из адаптации к полету у кальмаров данного вида имеются маленькие плавники на конце мантии, позволяющие стабилизировать движение в полете.



Рисунок 4 – летучий кальмар, осуществляющий планирование над водой

1.1.2. *Позвоночные животные, адаптированные к полету.* Продолжая изучать морских животных, адаптированных к полету, нельзя не отметить семейство летучие рыбы, относящиеся к классу **костных рыб**. Как было указано раньше, для этих животных характерно планирование. Существует более 50 видов, относящихся к данному семейству. Эти рыбы способны планировать со скоростью 60 км/ч на расстояние 30-50 метров. Прежде чем выпрыгнуть на поверхность воды, рыба разгоняется до 30 км/ч под водой.

Единичные представители класса **земноводные** также освоили воздушное пространство, используя планирование. Так, лягушки семьи веслоногие имеют приспособления для планирования в виде увеличения перепонки между пальцами. А некоторые лягушки, например, исполинский веслоног (*Polypedatesdennysi*) при маневрировании в воздухе совершает несколько переворотов.

Пресмыкающиеся также не остались в стороне освоения воздушного пространства, а некоторые представители данного класса смогли приспособиться к пассивному полету. Существует около 28 видов ящериц рода летучие драконы, которые обитают, как правило, в Юго-Восточной и Южной

Азии. Летательная перепонка, благодаря которой и происходит возможность планировать, поддерживается удлинёнными ребрами и в развёрнутом виде образует полукруг по обе стороны тела ящерицы, что делает её похожей на веер (рис.5).



Рисунок 5 – ящерица рода летучие драконы в полете

Кроме летучих ящериц, в Юго-Восточной Азии встречаются и летучие гекконы, однако их адаптации к полету менее выражены: эти ящерицы имеют маленькие складки кожи вокруг конечностей туловища, головы и хвоста, которые захватывают воздух и позволяют им планировать. Удивительными планирующими животными являются летучие змеи, которые также заселили территорию Юго-Восточной и Южной Азии. Они планируют, растягивая свое тело в стороны и раскрывая ребра так, что живот становится вогнутым, при этом они делают боковые скользящие движения.

Класс **млекопитающие** представлен большим количеством планеристов: грызун тагуан, белка-летяга, кагуан планируют между высокими деревьями в местах их обитания и имеют одинаковую адаптацию к полету – складки кожи, образованные между передними и задними конечностями животного. При полете эти складки раскрываются и создают дополнительную несущую поверхность. Приматы рода сифаки (рис.6) также способны осуществлять ограниченные передвижения в воздухе. Ученые предполагают, что главной адаптацией к пассивному полету является толстый мех на предплечье, который может оказывать илу аэродинамического сопротивления. Также имеется маленькая мембрана под руками, которая может оказывать подъемную силу.



Рисунок 6 – примат рода сифаки при осуществлении планирования

Но самым совершенным полетом среди млекопитающих обладают представители отряда рукокрылые: их передние конечности превратились в крылья, что позволяет осуществлять не только пассивный, но и активный полет. Крыло рукокрылых отличается высокой гибкостью, которая позволяет развивать большую подъемную силу. Если рассматривать строение крыла, то оно представляет собой сильно удлиненные фаланги пальцев, между которыми натянута кожная перепонка (рис. 7). Крыловая перепонка также соединяется с задними конечностями, формируя единую плоскость крыла.

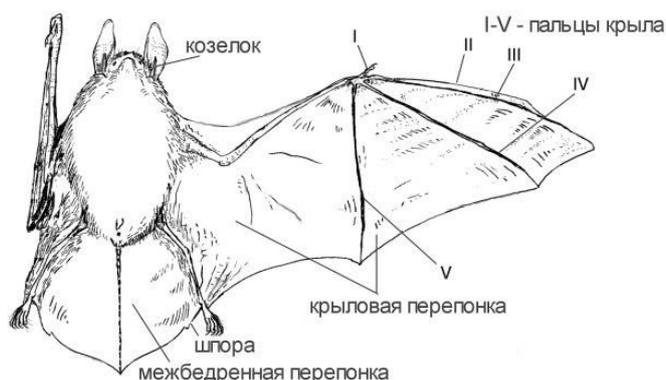


Рисунок 7 – схематичное строение адаптаций к полету отряда рукокрылые

Для создания дополнительной несущей поверхности сформировалась и межбедренная перепонка, представляющая собой складку кожи, натянутую между задними конечностями животного. Кожа перепонки рукокрылых очень эластична и способна растягиваться без разрыва в 4 раза больше [Ковтун, 1984].

Но самым совершенным полетом среди всего многообразия летающих животных обладают **птицы**. Эти животные представлены более 10 000 видами, способными к полету. Крылья птиц имеют уникальное строение, которое может

одновременно производить две аэродинамические силы для полета. Птицы обитают по всей планете и им не нужны внешние дополнительные условия для реализации полета, сравнивая их, например, с планеристами Юго-Восточной Азии [Формозов, 1976]. Поражает разнообразие адаптаций к полету: в ходе эволюции происходило формирование крыльев из передних конечностей животных, образовался перьевого покров и, как следствие, произошло изменение внутреннего строения птицы. Можно смело уверять, что организм птицы – это сложная система, одной из задач которых является непосредственное осуществление полета.



Закрепим изученный материал:

1) Какое из перечисленных животных не способно осуществлять планирование?

а) исполинский веслоног (*Polypedatesdennysi*); б) приматы рода сифаки; в) грызуны рода тагуан; г) прыткая ящерица (*Lacertaagilis*)

2) Какая из перечисленных групп животных адаптировалась к активному полету?

а) представители отряда пауки; б) пресмыкающиеся рода летучие драконы; в) представители семейства летучие рыбы; г) отряд рукокрылые;

3) Самый совершенный полет характерен для животных:

а) отряда рукокрылые; б) класса насекомые; в) класса птицы; г) рода летучие драконы

4) Какая из перечисленных адаптаций к полету не характерна для класса птицы?

а) образование перьевого покрова; б) формирование крыльев; в) появление межбедренной перепонки; г) изменение внутреннего строения организма

5) Подъемная сила у рукокрылых формируется благодаря:

а) отсутствию перьевого покрова; б) высокой гибкости крыла; в) формированию хвоста; г) редукции задних конечностей



6) Перечислите адаптации, позволяющие осуществлять планирование животным класса пресмыкающиеся?

Ответ: _____



7) Назовите преимущества, которыми обладает полет?

Ответ: _____



8) Установите соответствие между животным и его адаптацией к полету

Летучая ящерица

Утолщение
перепонки между
фалангами пальцев

**Веслоногая
лягушка**

Утолщенный мех на
предплечье

Белка-летяга

Летательная
перепонка,
поддерживаемая
ребрами

**Примат рода
сифаки**

Складка кожи,
образованная между
задними и передними
конечностями



9) Укажите термин, используя его описание:

_____ - парная передняя конечность некоторых животных, позволяющая осуществлять полет

_____ - перемещение животных в воздушном пространстве, обусловленное их активными действиями



10) Почему многие животные тропических лесов являются планеристами?

Ответ: _____



Рекомендуемая литература:

- 1) Васильев Г.С. «Основы полёта моделей с машущими крыльями»;
- 2) Ковтун М.Ф. «Строение и эволюция органов локомоции рукокрылых»;
- 3) Формозов А. Н. «Звери, птицы и их взаимосвязь со средой обитания».

1.2. Гипотезы происхождения полета у птиц



В данном разделе вы узнаете:

1. Основной ряд гипотез происхождения полета у птиц;
2. Аргументацию гипотез, их плюсы и минусы;
3. Понятие «эндотермные организмы».

Проблема происхождения полета птиц широко обсуждается в настоящее время в ученом сообществе. Однозначной теории происхождения полета нет до сих пор. Однако эволюция полета птиц вызвала немало гипотез. Поскольку летающие животные, как правило, маленькие (для увеличения соотношения площади поверхности тела к массе) и легкие (для уменьшения веса), их ископаемые останки встречаются намного реже и в худшем состоянии, нежели

большие сухопутные виды с тяжелыми костями одного с ними региона проживания. Окаменелости летучих животных в большинстве случаев приурочены к исключительным месторождениям ископаемых, образованных за весьма специфическими обстоятельствами, в результате чего, как правило, имеется плохой след окаменелостей и особенно ощущается недостаток переходных форм. Это вызывает большие затруднения при изучении данной проблемы. Ниже рассмотрим ряд гипотез, которые выделяют на настоящий момент.

Проблема происхождения полета птиц непосредственно связана с проблемой происхождения птиц. Существует основных две точки зрения на данный вопрос: птицы произошли от юрских тероподных динозавров (рис.8) или от триасовых архозавроморф (предки пресмыкающихся). Но стоит отметить, что доминирующее положение занимает **динозавровая гипотеза**, которая находит положительные мнения у многих ученых, изучающих данную проблему. Суть гипотезы состоит в том, что птицы произошли от тероподных динозавров (рис.8) и полет сформировался через быстрый бег предшественников, дальнейшее их подпрыгивание, а затем действие переросло в планирование, которое и привело в конечном итоге к полету.

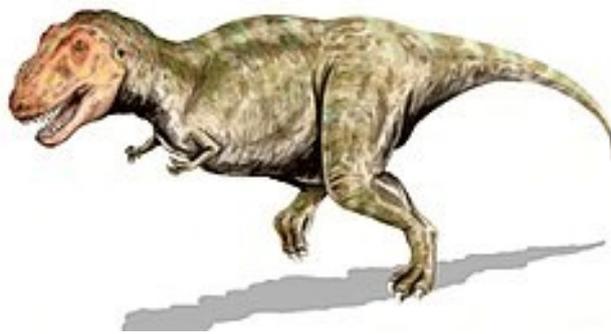


Рисунок 8 – юрский тероподный динозавр

Чуть позднее была выдвинута новая гипотеза происхождения полета, которая носит название **«наземная теория»**. Развитию данной гипотезы послужили наблюдения за кекликами, которые взбирались по наклонной плоскости. Было отмечено, что при увеличении угла склона, птицы начинали махать крыльями и тогда успешно продвигались вверх даже практически

вертикальной поверхности. Особенно это было характерно для птенцов. Поэтому было предположено, что предки птиц, взбираясь бегом по склонам, могли помогать своему движению, махая передними конечностями, из которых позже были сформированы крылья с перьевым покровом. Стоит отметить, что данная гипотеза также имеет широкую поддержку.

По *классической древесной гипотезе* считается, что триасовые архозавроморфные предки птиц забирались на деревья, благодаря когтистым лапам, а после начинали спускаться с вершин за счет планирования, а в последствие перешли и к активному полету. Также, существует версия и о том, что полет птиц произошел через планирование дромеозаврид (рис.9), забравшихся на деревья. Ярко выражено то, что в данной гипотезе рассматривают несколько предков птиц.

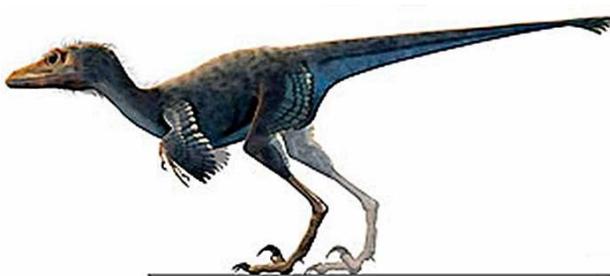


Рисунок 9 – бегущие ящеры дромеозавриды

Была также выдвинута версия наземной гипотезы происхождения полета через прыжок с возвышенных мест (скалы, обрывы, деревья и т.д.) и последующими планированием и полетом. Считается, что лазательные адаптации передних конечностей несовместимы с летательными особенностями. Предок птицы в таком случае должен быть *эндотермным*, бегающим и оперенным животным.

У всех версий древесных гипотез есть общее сходство: предшественником полета было планирование, в ходе которого и развился активный способ передвижения в воздухе.

При дальнейшем изучении данного вопроса, была предложена ***гипотеза прыгающих атакующих проависов***, которая в корне отвергала древесную и наземную гипотезы происхождения. В данной гипотезе рассматривается то, что обретение полета началось за счет бросков на добычу хищных предков птиц с каких-либо возвышений или засады. У атакующих проависов управление телом при прыжках стало точнее, когда на дистальных частях передних конечностей и хвоста появились простые перья с симметричными опахалами.

Оригинальная гипотеза происхождения полета была выдвинута Лопаревым, который анализировал строение таза динозавров и птиц и онтогенез современных птиц. Ученый считал, что полет формировался в прибрежных мелководных территориях с большим количеством зарослей. Птица при кормежке создавала тень путем поднятия передней конечностей, которая разворачивалась, и благодаря существующему первичному перьевому покрову создавала необходимое затемнение участка. После первичный перьевой покров преобразовался в крупные широкие перья, которые в дальнейшем могли выступать маховыми. Убегая от хищников, предки птиц могли бежать по воде, синхронно махая передними конечностями, в ходе чего, в дальнейшем, произошло формирование крыльев. Также, крылья могли сформироваться при нырянии птицы под воду для нахождения пищи. Но крылья в данном случае играли роль плавников, позволяющих производить загребательные движения [Курочкин, 2007].

Таким образом, подводя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что проблема происхождения полета птиц актуальна и в настоящее время. Существует ряд гипотез, имеющих объективные основания для утверждения того или иного суждения. Важным моментом является и то, что до конца неизвестен точный предок птиц, что осложняет изучение данного вопроса.



Закрепим изученный материал:

- 1) *Какая из перечисленных групп животных не является предполагаемым предком птиц?*
 а) динозавры; б) млекопитающие; в) пресмыкающиеся
- 2) *Какая из гипотез отражает появление полета у птиц через бег?*
 а) древесная гипотеза; б) гипотеза атакующих проависов; в) динозавровая гипотеза
- 3) *Какая гипотеза была сформирована при наблюдении за кекликами?*
 а) наземная теория; б) древесная теория; в) динозавровая гипотеза

4) Гипотеза, которая предполагает формирование полета в прибрежных мелководных территориях, была выдвинута ученым:

а) Ивановым; б) Лопаревым; в) Казневским

5) Какой тип полета появился раньше по древесной гипотезе?

а) машущий полет; б) скользящий полет; в) хлопающий полет; г) планирование

 6) Почему вопрос происхождения полета у птиц является спорным в настоящее время?

Ответ: _____

 7) В чем заключается суть гипотезы атакующих проависов?

Ответ: _____

 8) Благодаря каким действиям, предположительно, были сформированы крылья у кекликов?

Ответ: _____

 9) Установите соответствие между животными и гипотезами, в которых они отражены:

Динозавровая гипотеза

*Хищные предки птиц
(проависы)*

Наземная гипотеза

Древесная гипотеза

Ящеры дромезавриды

Тероподы

**Гипотеза атакующих
проависов**

Кеклики



10) *Определите теорию по ее краткому описанию*

_____ - происхождение полета было вызвано через прыжок с возвышенных мест;

_____ - полет образовался за счет бросков на добычу хищных предков птиц с каких-либо возвышений или засады;

_____ - полет сформировался через быстрый бег тероподов.



Рекомендуемая литература:

- 1) *Куручкин Е.Н. «К проблеме происхождения птиц: новый подход»;*
- 2) *Литинецкий А.Б. «Беседы о бионике»;*
- 3) *Чарлз Дарвин «Происхождение видов путем естественного отбора».*

ГЛАВА 2. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПТИЦ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЕТОМ

С приобретением способности к полету, строение птиц претерпело значительные изменения по сравнению с тем, которое было свойственно их предкам – рептилиям. Чтобы вес тела животного был как можно меньше и легче, часть органов стала более компактными, а некоторые были и вовсе утрачены. Кожные покровы рептилий – чешуйки были заменены на перья.

Те из тяжелых структур, которые имели жизненно важное значение, были перемещены ближе к центру тела, чтобы улучшить его балансировку. Кроме этого, регулируемость, скорость и эффективность всех физиологических процессов заметно повысилась, что обеспечило ту мощность полета, которая требовалась животному.

При изучении биологических адаптаций птиц к полету стоит рассмотреть особенности строения скелета птиц, адаптацию разных систем органов к полету. Особое внимание стоит уделить на изучение строения передних конечностей птиц - крыльев.

2.1. Общие адаптации систем органов птицы к полету



В данном разделе вы узнаете:

- 1) *Строение мышечной, нервной, дыхательной, пищеварительной, мочеполовой систем птицы;*

- 2) *Адаптацию систем органов к осуществлению летательного действия;*
- 3) *Основные функции систем, которые обеспечивают полет птицы;*
- 4) *Новые понятия «гомойотермия», «терморегуляция», «аптерии», «гетеротрофы», «гастролиты».*

Мышечная система представлена примерно 175 различными скелетными поперечнополосатыми мышцами, которые принимают участие в осуществлении движений. Их еще называют произвольными, так как их сокращение может контролироваться сознанием.

Хорошо развита у птиц мускулатура ребер и живота в связи с характером дыхательных движений: одни из них увеличивают объем грудной клетки. Довольно сложна и хорошо развита мускулатура хвоста, где имеются мускулы, поднимающие и поворачивающие хвост, опускающие хвост и расправляющие или складывающие рулевые перья. Однако более всего развиты у птиц мышцы конечности, но это мы изучим немного позже на следующих уроках.

Основными мышцами, которые обеспечивают движение крыла и тем самым реализуют полет, являются *грудная мышца* и *надкоракоидная* (рис.10). Обе начинаются на груди: грудная мышца тянет крыло вниз, обуславливая движение птицы в воздухе вверх и вперед, а надкоракоидная мышца поднимает крыло вверх, подготавливая его к взмаху.

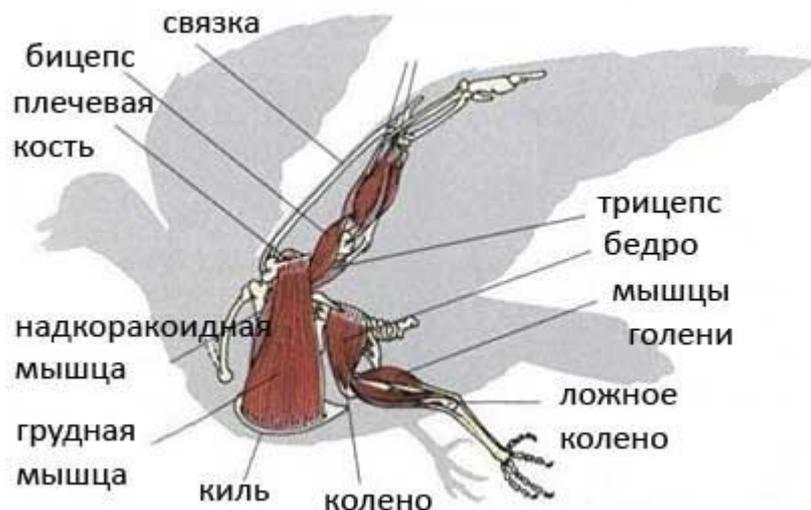


Рисунок 10 – мышцы птицы, адаптированные для полета

Птицы имеют и гладкую мускулатуру, которая выстилает внутренние органы, а также встречается и в коже. Именно ими обуславливаются движения перьев при полете [Гладков, 1949].

В *нервной системе* интересное значение для полета имеет *мозжечок*: его большой размер и строение, соответствуют тем сложным задачам, которые связаны с сохранением в воздухе равновесия и координацией множества движений необходимых для полета.

Центральная нервная система также контролирует различные *терморегуляторные реакции* птицы. Для птиц характерна *теплокровность (гомойотермия)*. Температура тела у птиц выше, чем у млекопитающих. При такой температуре быстрее протекают все процессы жизнедеятельности, и, в частности, выше скорость сокращения мышечных волокон. Это позволяет птицам совершать большую работу в единицу времени.

Главная биологическая задача терморегуляции во время активного полета заключается в усилении теплоотдачи. Одна из главных функций теплоотдачи в полете - сохранить постоянную температуру тела и не допустить перегрева организма птицы. Во время полета выделяется большое количество энергии, которая птица выделяет в окружающую среду за счет участков кожи без перьевого покрова – *аптерии*. На данных участках кровеносные сосуды близко

Терморегуляция – это совокупность физиологических реакций организма, обеспечивающих постоянство температуры тела.

располагаются к коже, и происходит интенсивный теплообмен.

Строение **дыхательной системы** птиц отражает их приспособленность к полету (в том числе и на больших высотах) и во многом отличается от дыхательной системы млекопитающих [Ильичев, 1982].

Как и у млекопитающих, начальная часть дыхательной системы птиц представлена трахеей и бронхами. Первичные bronхи входят в легкие, где дают ряд ответвлений и в конце концов открываются в воздухоносные полости - *воздушные мешки*(рис.11). Воздушные мешки предоставляют собой тонкостенные полости, образующиеся как выросты бронхов и

располагающиеся между внутренними органами; ответвления воздушных мешков заходят в некоторые трубчатые кости. У большинства птиц имеется пять пар воздушных мешков и их общий объем составляет 15-20% объема тела.

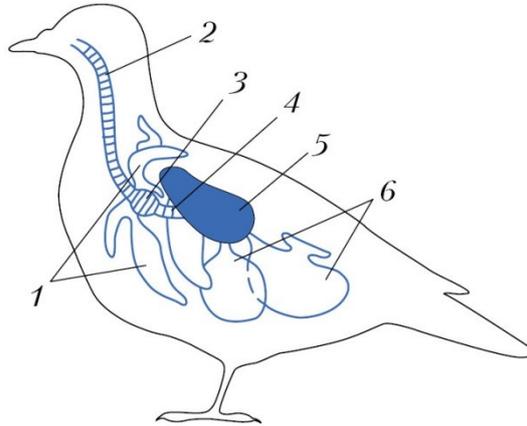


Рисунок 11 –схема дыхательной системы птицы:1- передние воздушные мешки; 2- трахея; 3 – нижняя гортань; 4- центральный бронх; 5 – лёгкое; 6 – задние воздушные мешки

Благодаря воздушным мешкам происходит осуществление *двойного дыхания* у птиц: воздух на вдохе проходит через легкие и попадает в воздушные мешки, на выдохе из воздушных мешков вновь проходит через легкие. К тому же, они играют важную роль в системе внешнего дыхания. Не принимая непосредственного участия в процессе газообмена, они увеличивают общий дыхательный объем и активно участвуют в системе «воздушного насоса», продвигая воздух по дыхательным путям. В осуществлении дыхания принимают участие мышцы грудины, которые не входят в состав полетной мускулатуры, поэтому дыхательные движения можно осуществлять в полете, при этом не нарушая движения крыльев [Шмидт-Ниельсен, 1982].

Птицы, как и все животные, *гетеротрофы*, поэтому они постоянно нуждаются в притоке органических веществ извне в виде пищи. В *пищеварительной системе* птиц происходит редуция

Гетеротрофы – организмы, использующие для своего питания готовые органические вещества (обычно ткани растений или животных) через процесс, известный как гетеротрофное питание.

(упрощение) органов, что облегчает общую массу тела и увеличивает скорость обмена веществ.

Отсутствие у птиц зубов и формирование нового органа захвата пищи клюва, облегчает массу голову и вес птицы в целом. Однако у некоторых птиц под языком располагается растяжимый мешок, служащий местом временного хранения пищи, что, наоборот, в некоторой степени может утяжелять голову птицы. Но, как правило, такой способ хранения пищи птицы предпочитают в те моменты, когда нет необходимости совершать полеты. Примерами таких птиц могут служить кедровка (*Nucifragacaryocatactes*) или мелкие чистиковые.

Рисунок 12– строение пищеварительной системы птицы: 1- рот; 2- глотка; 3- пищевод; 4- зоб; 5- железистый желудок; 6- мускульный желудок; 7- печень; 8- поджелудочная железа; 9 – тонкая кишка; 10 – толстая кишка; 11- клоака

Пищевод птиц обладает высокой растяжимостью для того, чтобы пища, не измельченная зубами,

могла продвигаться дальше по пищеварительной системе. У некоторых птиц имеется морфологически выраженное расширение пищевода – зоб (рис.12). В зобе идет предварительное размягчение пищи под действием слюны и слизи, выделяемой пищеводом. Происходит формирование *мышечного желудка* (рис.12), в котором осуществляется механическое измельчение пищи за счет песчинок и камушек (*гастролиты*), которые птицы регулярно заглатывают. Кишечник у птиц также редуцирован, тонкий кишечник слабо дифференцирован, толстый кишечник представлен лишь короткой прямой кишкой, которая открывается в клоаку. Стоит отметить и то, что мочеполовая система также претерпела сильное упрощение: отсутствие мочевого пузыря позволяет облегчать вес птицы при полете, окончанием системы также является клоака [Наумов, 1979].

Таким образом, подводя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что системы органов птиц развивались для осуществления двух основных функций, которые необходимы при реализации полета: 1) облегчение массы тела птицы; 2) выработка большого количества энергии за малое количество времени.



Закрепим изученный материал:

- 1) *Основными мышцами, обеспечивающими подъем крыла, являются:*
 - а) мышцы хвоста; б) грудная и надкоракоидная мышцы; в) бицепс и трицепс; в) связки
- 2) *Часть головного мозга, отвечающая за сохранение в воздухе равновесия и координацию движений в полете, называется:*
 - а) мозжечок; б) средний мозг; в) продолговатый мозг; г) передний мозг
- 3) *Воздухоносные полости, обеспечивающие двойное дыхание, называются:*
 - а) легкие; б) бронхи; в) воздушные мешки; г) аптерии
- 4) *Основная задача мускульного желудка:*

а) расщепление пищи под действием слюны; б) механическое измельчение пищи; в) первичное расщепление пищи под действием ферментов; г) захват пищи



5) Редукция мочеполовой системы заключается:

а) отсутствие почек; б) отсутствие мочеочника; в) отсутствие мочевого пузыря; г) отсутствие клоаки



6) Основная функция терморегуляции во время полета?

Ответ: _____



7) Перечислите основные адаптации пищеварительной системы к полету:

Ответ: _____

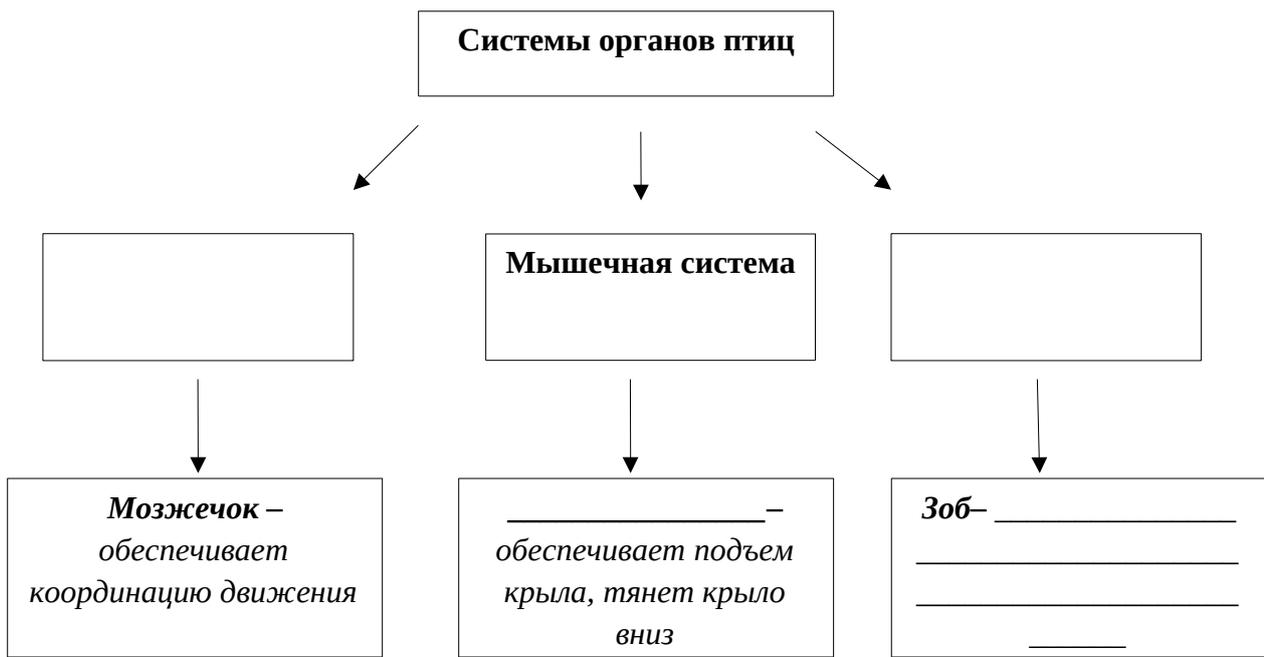


8) Дайте определение понятию «аптерии»:

Ответ: _____



9) Заполните схему:



 10) Установите соответствие между системой и выполняемой функцией:

- | | |
|----------------------------|--|
| а) пищеварительная система | 1) усиление теплоотдачи во время полета |
| б) дыхательная система | 2) облегчение массы головы птицы |
| в) нервная система | 3) роль «воздушного насоса» |
| г) мышечная система | 4) увеличение объема грудной клетки во время дыхания |



Рекомендуемая литература:

- 1) Гладков Н.А. «Биологические основы полёта птиц»;
- 2) Ильичев В.Д. «Общая орнитология»;
- 3) Наумов Н.П. «Зоология позвоночных»;
- 4) Шмидт-Ниельсен «Физиология животных. Приспособление и среда».

2.2. Скелет птицы



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Особенности строения черепа птиц;
- 2) Морфологию отделов позвоночника птиц, структурные элементы позвоночника, характерные для изучаемого класса;
- 3) Устройство грудной клетки;
- 4) Строение задних конечностей птицы;
- 5) Адаптацию скелета птицы к полету;
- 6) Новые понятия «восковица», «мышцелок», «сложный крестец», «киль», «коракоид», «вилочковая кость», «цевка».

Птичий скелет можно охарактеризовать как жесткий и легкий. Его облегчение было достигнуто благодаря тому, что ряд элементов был редуцирован (в первую очередь в конечностях птиц), а также благодаря тому, что произошло заполнение некоторых костей воздухоносными полостями. Жесткость же была обеспечена срастанием ряда структур. Например, в позвоночнике отдельные позвонки прочно срастаются друг с другом, а не образуют подвижную, гибкую цепочку, что позволяет птице во время полета равномерно удерживать тело в воздухе. Жесткий скелет также способствует преодолению физических сил, которые возникают во время полета.

2.2.1. Строение черепа и позвоночника у птиц. Череп птиц образован тонкими губчатыми костями, имеет небольшой размер. У взрослых птиц кости черепа полностью срастаются, что обеспечивает его прочность.

Смещение затылочного отверстия и затылочного *мышелка* на дно черепа увеличило подвижность головы относительно шеи и туловища. Шея у птиц очень подвижная, что очень важно для птиц: возможность менять положение центра тяжести в полете, сгибая и выпрямляя шею. Челюсти не имеют зубов и вытянуты, образуют *клюв*, который облачен в роговой чехол. Верхняя и нижняя челюсти соответствуют *надклювью* и *подклювью* (рис.13). Птичья верхняя челюсть подвижна, благодаря тому, что имеет особое, шарнирное прикрепление к мозговой коробке. На надклювье находятся ноздри. Нюх у птиц развит слабо. У сизого голубя (*Columbalivia*) на клюве есть *восковица* — небольшое возвышение над ноздрями. Восковица покрыта мягкой чувствительной кожей и является органом осязания. У некоторых птиц, например, отряда совообразных эту функцию

выполняют чувствительные щетинки, расположенные в основании клюва. Данные органы осязания нужны для того, чтобы во время полета птицы могли почувствовать малейшие изменения потоков воздуха [Потапов, 2019].

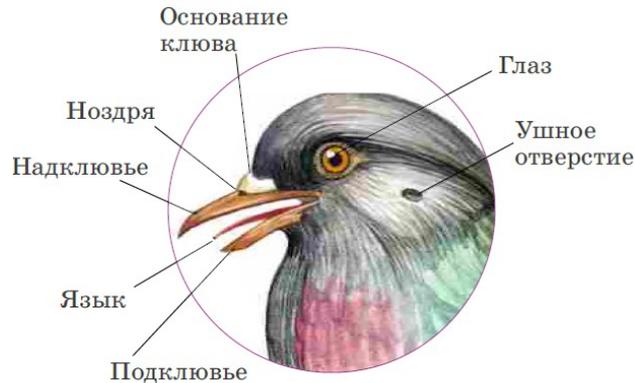


Рисунок 13 – строение головы птицы

На голове (рис.13) в выемках черепа (глазницах) расположены глаза, защищенные тремя веками. Размещение глаз позволяет птице видеть почти все, что происходит и впереди нее, и сзади. У всех птиц острое зрение. Так, например, хищные птицы способны разглядеть добычу даже на расстоянии 1 км. Ярким примером такой хищной птицы с острым зрением является сокол-сапсан (*Falco peregrinus*). Птицы также различают множество оттенков цветов, поэтому самцы многих птиц наряжаются в роскошные брачные наряды.

Немного ниже и сзади глаз, под нижним краем глазниц, расположены ушные отверстия, прикрытые перьями (рис.13). Слух у птиц развит очень хорошо, об этом свидетельствует звуковое богатство их песен. Длиннохвостая неясыть (*Strix uralensis*), сидя на верхушке дерева, слышит писк мыши в траве и мгновенно на нее бросается. Зрение и слух неслучайно так хорошо развиты у птиц: эти органы чувств позволяют с легкостью находить еду птицам, перемещаясь на дальние расстояния, будучи на высоте. А вот нюх у большинства птиц развит хуже, чем слух и зрение [Бацылев, 1985].

Позвоночный столб птиц подразделяется на пять отделов: шейный, грудной, поясничный, крестцовый и хвостовой. Позвоночник птиц состоит из

множества мелких позвонков, которые располагаются один за другим, начиная от основания черепа до окончания хвоста(рис. 14).

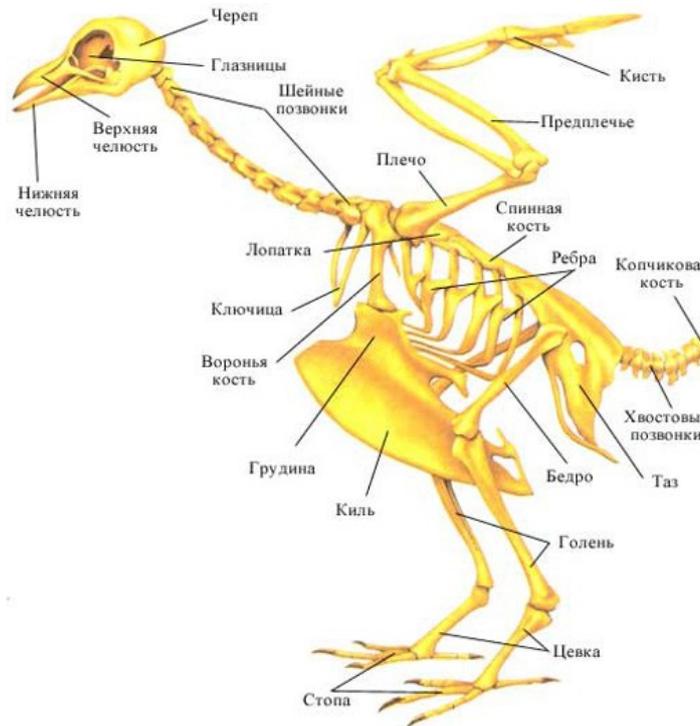


Рисунок 14 – скелет птицы

Шейные позвонки обособлены, очень подвижны и их намного больше, чем у большинства млекопитающих. Благодаря этому птицы могут очень сильно наклонять голову и поворачивать ее практически в любом направлении. Количество шейных позвонков у птиц неодинаковое: так, у домового воробья (*Passer domesticus*) количество шейных позвонков равняется 14, а у черного лебедя (*Cygnus atratus*) их 23. Интересным фактом можно отметить и то, что у жирафа количество шейных позвонков в два раза меньше: их всего 7. Позвонки соединяются седловидными суставными поверхностями, что придает шее особую гибкость и позволяет птицам поворачивать голову птицам на 180°, а некоторым даже на 270°: примерами служат представители отряда совообразных.

Позвонки грудного отдела сочленяются с ребрами и в

большинстве случаев прочно срастаются друг с другом, образуя *спинную*

Сложный крестец -
 монолитная кость у птиц и динозавров,
 образовавшаяся вследствие срастания
 между собой поясничных, крестцовых и
 части хвостовых позвонков

кость(рис.14). В тазовой области поясничные и крестцовые позвонки слиты в одну длинную монолитную кость, называемую *сложным крестцом*. Благодаря этому для птиц характерна необычайно жесткая спина. Кости тазового пояса неподвижно срастаются со сложным крестцом. Это способствует большей неподвижности туловища и создает прочную основу для прикрепления задних конечностей, на которые давит вся тяжесть тела при движении птицы по земле. Оставшиеся хвостовые позвонки достаточно подвижны, кроме нескольких последних, слитых в единую копчиковую кость называемую *пигостилем*(рис.14). Она является скелетной опорой для имеющих большую длину рулевых хвостовых перьев. Укорочение хвостового скелета увеличивает общую компактность тела (имеет важное аэродинамическое значение) [Хадорн, 1989].

2.2.2. *Грудная клетка птиц*. Сердце и легкие птицы снаружи защищены и окружены ребрами и грудными позвонками. Каждое ребро птиц состоит из двух частей, подвижно соединенных друг с другом. Нижней частью ребра подвижно соединяются с краем грудины, а верхней – с позвонками. Помимо этого, ребра имеют крючковидные отростки, налегающие на последующие

Киль- вырост грудины у летающих животных, к которому прикрепляются сильно развитые грудные мышцы.

ребра. Такое строение придает грудной клетке прочность и подвижность. Быстролетающим птицам присуща слишком широкая грудина, разросшаяся в *киль*(рис.14).. Это обеспечивает и эффективное прикрепление главных летательных мышц, которые обеспечивают движение крыла. Сокращение грудных мышц вызывает опускание крыла в полете. Как правило, чем больше у птицы киль, тем сильнее у нее полет. У нелетающих птиц киль отсутствует из-за ненужности.

Плечевой пояс, который связывает крылья с остевым скелетом, с каждой стороны образован тремя костями, которые расположены наподобие треножника. Одна ножка этой конструкции, именуемая *вороньей костью* или

коракоидом, одним концом упирается в грудину птицы, а другим соединяется с лопатками и основаниями плечевых костей. Вторая кость, являющаяся лопаткой, лежит на ребрах животного, а третья кость – ключица

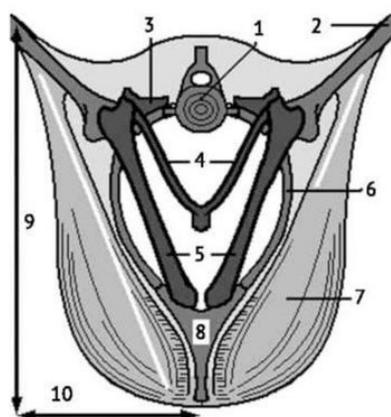
Коракоид - парная кость, входящая в состав первичного (не образованного кожными окостенениями) плечевого пояса позвоночных.

сливается с противоположной ключицей в единую кость называемую «вилочка» или вилочковая кость (рис.15). Мощност

Вилочковая кость - дугообразная косточка в скелете птиц, представляющая собой две сросшиеся ключицы

их прочное соединение с грудной обеспечивают опору для крыльев в полете. Удлинение коракоидов увеличивает площадь прикрепления

мышц крыла, а также позволяет вынести вперед плечевой сустав, что обеспечивает и удобное складывание крыла в покое, и аэродинамически выгодное его положение в полете, когда центры площадей крыльев лежат на линии, проходящей через центр тяжести птицы. Вилочковая кость играет роль амортизатора, смягчающего толчки при взмах



- 1 - позвонок,
- 2 - плечевая кость,
- 3 - лопатка,
- 4 - вилочка (сросшиеся ключицы),
- 5 - коракоиды,
- 6 - ребро,
- 7 - большая грудная мышца,
- 8 - грудина с вентральным продольным гребнем - килем,
- 9 - вертикальная составляющая усилия,
- 10 - горизонтальная составляющая усилия

Рисунок 15 – поперечное сечение пояса передних конечностей птицы

2.2.3. Устройство ног у птиц. Тазовый пояс птиц состоит из трех костей, слитых между собой. Это подвздошная, лобковая и седалищная кости, причем подвздошная кость сращена со сложным по своей структуре крестцом. Такая сложная конструкция защищает почки снаружи, одновременно обеспечивая прочную связь ног с плечевым скелетом. Там, где три кости относящиеся к

тазовому поясу сходятся друг с другом, находится значительная по своей глубине вертлужная впадина. В ней вращается головка бедренной кости.

Главным стержнем верхнего отдела нижних конечностей у птиц является бедренная кость. Далее идет голень, которая причленяется к этой кости в коленном суставе. У птиц в голени нет разделений на малую и большую берцовую кости: они сращены между собой, а также с одной или несколькими косточками предплюсны (рис.16).

Во внутрипредплюсневом (голеностопном) суставе причленяется стопа, которая состоит из одной длинной кости, костей пальцев и *цевки*(рис.16).

Цевка - одна из костей ноги птиц, расположенная между голенью и пальцами; образуется слиянием нижнего ряда предплюсневых костей с тремя средними сросшимися по длине плюсневыми костями.

Последняя образована элементами плюсны, которые сращены между собой, а также несколькими предплюсневыми

нижними косточками. Цевка играет важную роль при взлете и посадке: она как пружинка помогает отталкиваться, а также смягчает приземлении птиц.

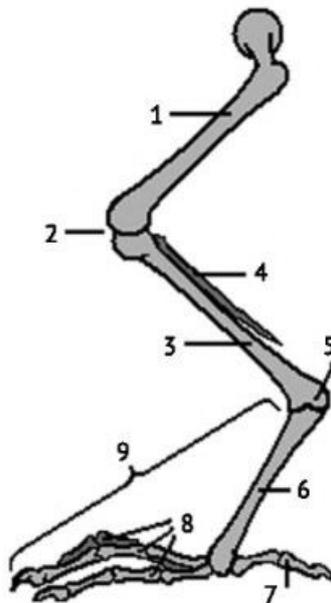


Рисунок 16 – строение задних конечностей птиц: 1 – бедренная кость; 2 – коленный сустав; 3 – большая берцовая кость; 4 – редуцированная малая берцовая кость; 5 – голеностопный сустав; 6 – цевка; 7 – противопоставленный палец стопы; 8 – фаланги пальцев птицы

Большинство птиц имеет четыре пальца, каждый из которых причленен к цевке и заканчивается когтем. Первый палец у птиц обращен назад. Остальные пальцы в большинстве случаев направлены вперед. Отдельные виды имеют обращенный назад (как и первый) второй или же четвертый палец. Такое разнообразие ног у птиц связано с их разным образом жизни. Цевка у птиц на землю не опирается, и они ходят только на пальцах, не опираясь на грунт пяткой.



Закрепим изученный материал:

- 1) Прочность черепа у птиц обеспечивает:
- а) большое количество Са в костях; б) большой размер черепа; в) наличие трубчатых костей; г) полное срастание костей черепа
- 2) Самый подвижный отдел позвоночника, позволяющий совершать птице поворот на 180° , называется:
- а) шейный; б) грудной; в) поясничный; г) тазовый
- 3) Жесткость спине птицы обеспечивает кость:
- а) киль; б) вилочковая кость; в) сложный крестец; г) цевка
- 4) Роль амортизатора, смягчающего толчки при взмахах крыла, выполняет:
- а) коракоид; б) вилочковая кость; в) киль; г) воронья кость
- 5) Приземление птицы смягчает (ют):
- а) коленный сустав; б) плюсна; в) цевка; г) фаланги пальцев
-  6) Почему у нелетающих птиц отсутствует киль?

Ответ: _____



7) У кого больше позвонков в шейном отделе: у жирафа или воробья?
Сколько у них позвонков?

Ответ: _____

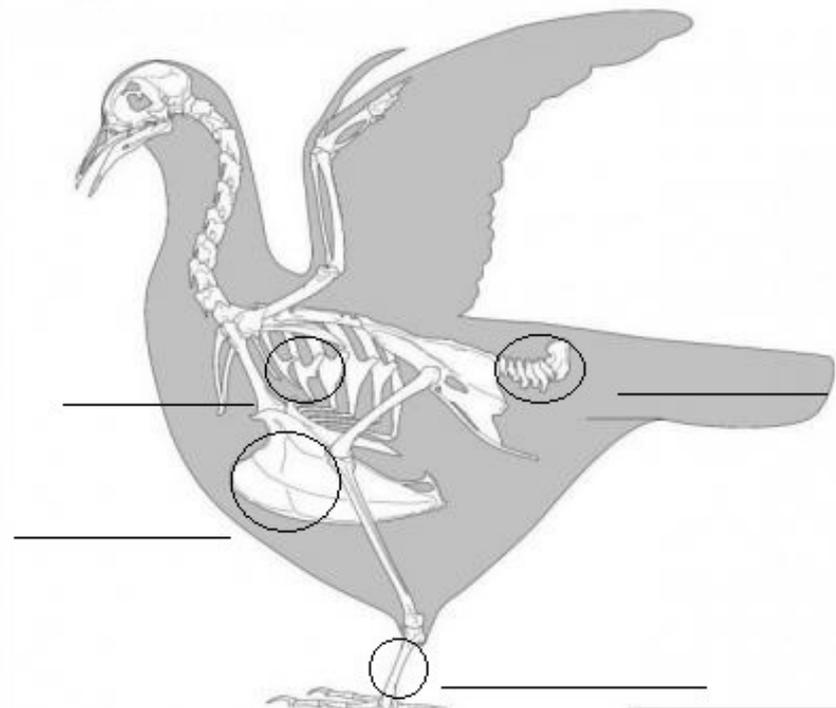


8) Назовите структурные элементы, характерные только для скелета птиц, и их функции, которые позволяют осуществлять полет птице?

Ответ: _____



9) Назовите скелетные структуры, которые выделены в схеме. Соотнесите функции, предложенные в правом столбце, с теми структурами, которым они соответствуют.



Скелетная опора рулевых
хвостовых перьев

Обеспечивает прочность и
подвижность грудной клетки

Помогает отталкиваться и
мягко приземляться птице

Обеспечивает движение
крыла

10) Соотнесите скелетную структуру и ее характеристику:

<p>Парная кость плечевого пояса птицы, которая одним концом упирается в грудину, а вторым соединяется с лопаткой</p>	<p>Цевка</p>	<p>Вырост грудины, которое обеспечивает движение крыла</p>
<p>Кость ноги, расположенная между голенью и пальцами, которая смягчает приземление птицы</p>	<p>Вилочковая кость</p>	<p>Образована при срастании между собой поясничных, крестцовых и части хвостовых позвонков</p>
	<p>Киль</p>	
	<p>Коракоид</p>	<p>Кость, представляющая собой две сросшиеся ключицы</p>
	<p>Сложный крестец</p>	



Рекомендуемая литература:

- 1) Бацьлев Е.Г. «Зоология»;
- 2) Ильичев В.Д. «Общая орнитология»;
- 3) Прокофьев О.Н. «Удивительное рядом»;
- 4) Хадорн Э. «Общая зоология».

2.3. Скелет крыла птиц



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Структуру скелета крыла, особенности его строения;
- 2) Функции структурных элементов скелета крыла при полете;
- 3) Связь между профилем крыльев птиц и среды обитания;
- 4) Новое понятие «подъемная сила».

Среди особенностей организма птиц, связанных с полетом, первое место занимают локомоторные органы этих животных – крылья. Птичье крыло намного легче, чем конечность любого другого наземного позвоночного, сходного по размерам с птицей. Этому способствует две причины: во-первых,

сильная редукция конечностей, а во-вторых, длинные кости предплечья и плеча птицы являются пустотелыми.

Крылья представляют собой видоизмененные передние конечности наземных позвоночных и имеют три отдела: плечо, состоящее из непарной плечевой кости, (основной отдел), предплечье, представленное локтевой и лучевой костями, (средний отдел) и кисть, пястно-запястная кость которой называется *пряжка* (наружный отдел). Также, характерной чертой является редукция IV и V пальцев и неподвижность пястных костей(рис.17).

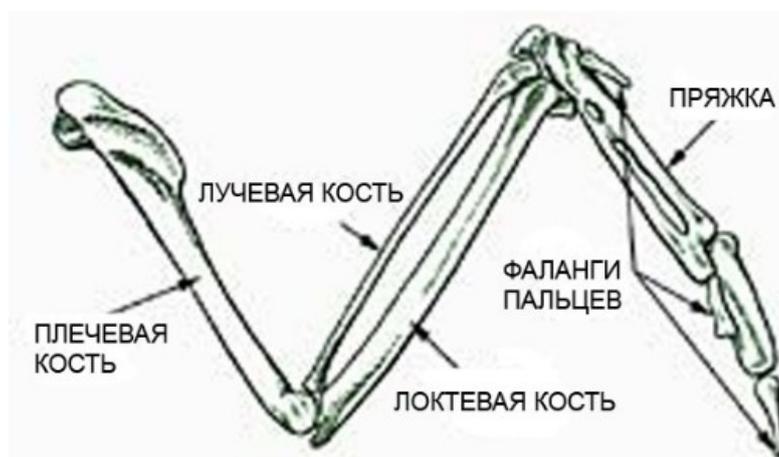


Рисунок 17 – скелет крыла птицы

Редукция пальцев и образование пряжки обеспечивают прочную опору для первостепенных маховых перьев — части крыла, несущей в полете наибольшую нагрузку.

Кости птиц, как уже было сказано выше, пустотелые и легкие. Эта адаптация позволяет уменьшить общий вес крыла. Однако, несмотря на свою легкость, эти кости прочные, что позволяет им выдерживать высокое давление при полете. Дополнительное облегчение крылу придает то, что крупные мышцы в нем отсутствуют. Вместо мышц главные движения крыльев контролируются с помощью сухожилий очень развитой мускулатурой грудины.

Плечо образовано длинной трубчатой костью и утолщенными концами. Характер суставных поверхностей заметно ограничивает возможность вращательных движений в плечевом суставе, что обеспечивает устойчивость

крыла в полете. Проксимальный конец (входит в сустав) плечевой кости немного изогнут, а дистальный (противоположная расширенная часть) несколько уплощен и изогнут наружу. Эта изогнутость влияет на подъемную силу крыла: чем круче изгиб, тем больше подъемная сила. В зависимости от среды обитания, птицы имеют разную изогнутость плечевой кости: у лесных птиц, например серая куропатка (*Perdix perdix*) или тетерев (*Tetrao tetrix*), плечо более изогнутое, что позволяет им быстро набирать подъемную силу и маневрировать среди высоких деревьев. А у птиц, которые летают на открытом пространстве и не совершают маневрирование, например черный стриж (*Apus apus*), плечевая кость менее изогнута [Якоби, 1965].

Варьируется и длина этой кости: она зависит от особенностей полета птиц. Если птица способна много времени проводить в воздухе и планировать там, то она имеет длинную плечевую кость. Короткая кость у тех птиц, которые летают с помощью частых взмахов и, как правило, недолго.

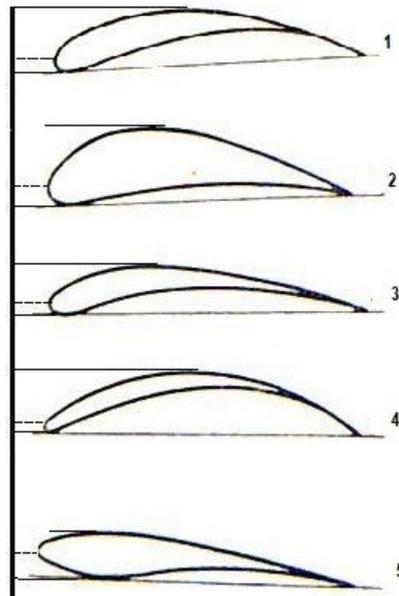


Рисунок 18 – изгибы крыльев птиц в профиле: 1 – озёрная чайка (*Chroicocephalus ridibundus*); 2- странствующий альбатрос (*Diomedea exulans*); 3- сизая чайка (*Larus canus*); 4 – серая куропатка (*Perdix perdix*); 5 - черный стриж (*Apus apus*)

В предплечье сильнее развита локтевая кость, так как именно к ней прикрепляются второстепенные маховые перья. Локтевая кость также имеет изогнутость, что продолжает формировать вместе с плечевой костью общий изгиб крыла в профиле (рис.18).

На поверхности локтевой кости видны бугорки — места прикрепления очинцов второстепенных маховых перьев. Характер суставных поверхностей локтевого сустава также прочно соединяет кости плеча и предплечья, что ограничивает вращательные движения в данном суставе. Однако сохраняется большая подвижность в плоскости крыла, что дает возможность птице складывать крыло в покое и изменять его площадь при изменении режима полета [Цвелых, 1983].

Кисть состоит из запястья и трех пальцев (I, II и III) (рис.19). Первый (I) палец образован, как правило, одной фалангой и очень мал. Он является опорой для рудиментарного крылышка, которое действует как особый регулятор, снижающий торможение крыла при малых скоростях полета. Иногда фаланга первого (I) пальца несет коготь. Второй (II) палец состоит из

двух фаланг, а третий (III) палец представлен сильно редуцированной фалангой.

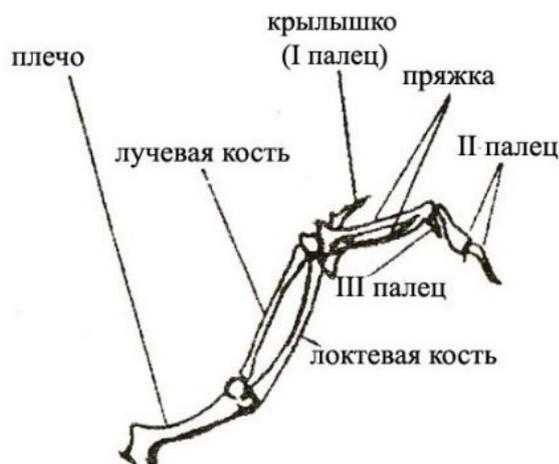


Рисунок 19 – строение кисти крыла

Твердую основу крыла составляют его скелет с мускулатурой. Небольшая часть площади крыла состоит из передней и задней летательной перепонки.

Передняя летательная перепонка формирует передний край проксимального отдела крыла. Это складка кожи треугольной формы, натянутая в развернутом крыле между плечевым и локтевым и кистевым суставами, покрытая мелкими кроющими перьями [Шестакова, 1971].

Задняя летательная перепонка - это складка кожи, натянутая между туловищем и плечевой костью. Она служит местом прикрепления группы перьев на стыке между крылом и туловищем, которые являются одной из основ создания обтекаемости формы тела.



Закрепим изученный материал:



1) Главным преобразованием передних конечностей у птиц является:

а) удлинение костей скелета конечностей; б) пятипалая кисть; в) формирование крыльев; г) развитие мускулатуры конечностей



2) Крыло птицы имеет малый вес благодаря:

а) отсутствию плечевой кости; б) сильной редукции локтевой и лучевой костей; в) воздухоносным полостям внутри костей; г) формированию пряжки



3) Особенностью мускулатуры крыла является (выберите два варианта ответа):

а) развитие крупных летательных мышц в плечевом отделе; б) движения осуществляются за счет развитых сухожилий; в) крупные летательные мышцы сосредоточены на груди, в крыле они отсутствуют; г) пряжка – главная летательная мышца крыла



4) Бугорки на поверхности локтевой кости необходимы для:

а) увеличения подъемной силы; б) прикрепления второстепенных маховых перьев; в) прикрепления крупных мышц крыла; г) регулирования траектории движения в полете



5) Особенность полета птиц предопределяет длину кости скелета крыла, которая называется:

а) плечевая кость; б) локтевая кость; в) лучевая кость; г) фаланги пальцев



6) Какие адаптации к полету возникли у птиц в кистевом отделе крыла?

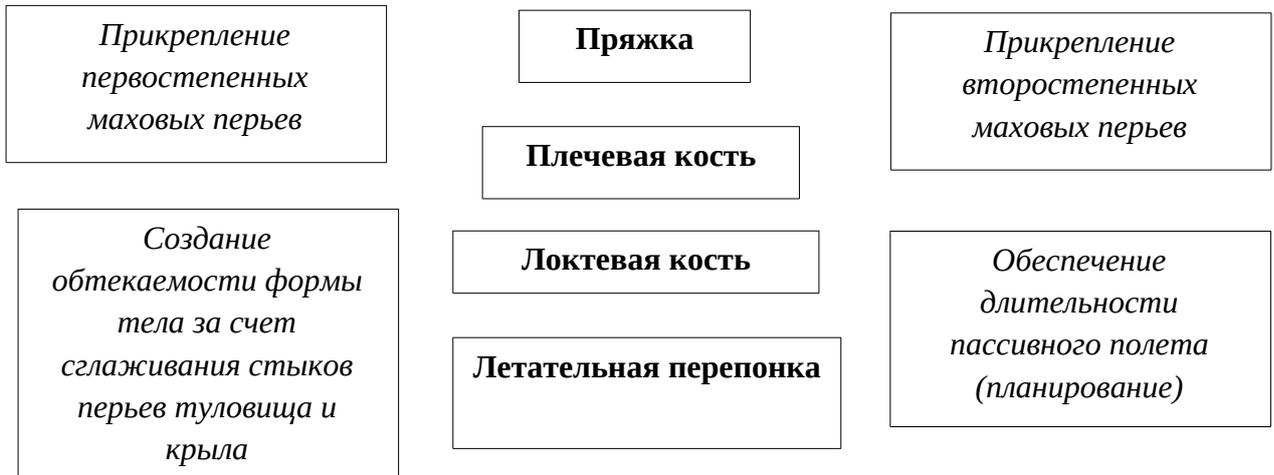
Ответ: _____



7) Почему в предплечье локтевая кость развита сильнее лучевой?

Ответ: _____

8) Установите соответствие между скелетной структурой и выполняемой функцией:



1
2
3

9) Установите последовательность в расположении костей скелета крыла, начиная от плечевого отдела:

а) пряжка; б) лучевая кость; в) фаланг I пальца; г) плечевая кость; д) фаланг II пальца

Ответ: _____



10) Известно, что глухарь (*Tetraourogallus*) – лесная птица, а коростель (*Crex crex*) обитает в открытых ландшафтах. Вспомните, каким образом среда обитания птицы влияет на развитие скелета крыла и изобразите схематично профиль крыла каждой из птиц.

Профиль крыла глухаря Профиль крыла коростеля

(*Tetraourogallus*) (*Crex crex*)

У какой из птиц изгиб в профиле крыла будет круче? Чем это вызвано?

Ответ: _____



Рекомендуемая литература:

- 1) Ильченко В.Р. «Перекрестки физики, химии и биологии»;
- 2) Шестакова Г.С. «Строение крыльев и механика полета птиц»;
- 3) Кац Ц.Б. «Биофизика на уроках физики»;
- 4) Якоби В.Э. «Механизация и автоматика крыла птиц».

2.4. Перьевого покров птиц



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Строение и структурные элементы пера;
- 2) Виды перьев и их функции;
- 3) Значимость перьевого покрова при полете птиц;
- 4) Новые понятия «опахало», «сила тяги», «крылышко», «половой диморфизм»

Большую роль при полете играют легкие роговые образования - перья птиц. Строение пера птицы имеет следующий набор: *стержень, очин, бородки, бородочки (или бородки второго порядка), крючки*(рис 20).

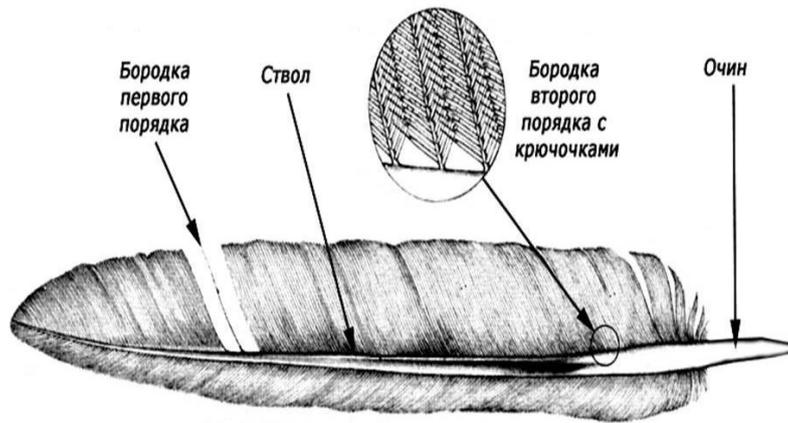


Рисунок 20 – строение пера птицы

Центральный стержень – это основа каждого пера. Он заканчивается полым очинном, который крепится в перьевой сумке, находящейся в коже. Ствол – это верхняя часть пера, на которой расположены бородки. К стволу под углом в 45° крепятся упругие нитевидные образования - бородки первого порядка. На них расположены ещё более тонкие и маленькие нити - бородочки (их также называют бородками второго порядка). На бородочках расположены крючки, с помощью которых бородочки скрепляются между собой и формируют упругое и плотное опахало, которое способно сопротивляться давлению воздуха во время полета. Если крючочки расцепляются, то птица с помощью клюва поправляет их. Механизм часто сравнивают с застежкой-молнией. Бородочки в нижней части опахала не имеют крючков и составляют его пуховую часть.

Опахало пера имеет некую толщину – за счет переплетения различных крючков и бородок в различных плоскостях. Образно эту конструкцию можно представить в виде сети (рис.21), в которой могут находиться пузырьки воздуха. Они придают оперению водоотталкивающие и теплоизолирующие свойства.

Опахало - пластинчатая часть пера птиц, лежащая по обе стороны от его стержня.

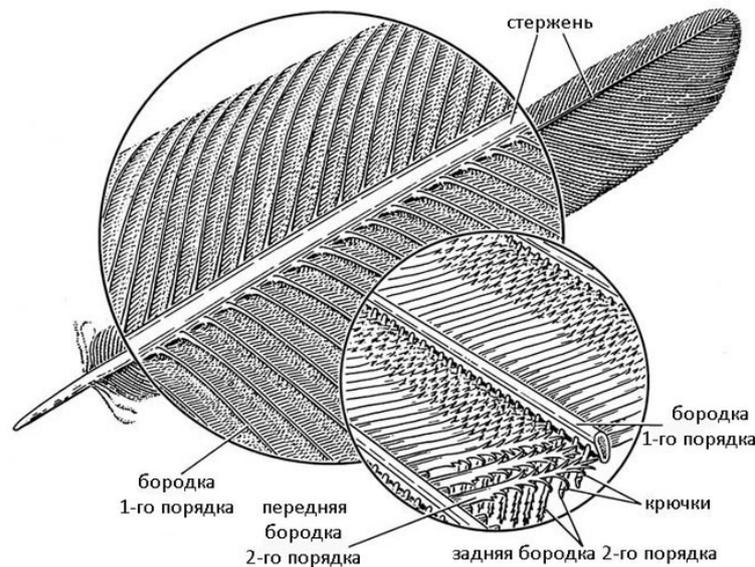


Рисунок 21 -схематичное взаимодействие бородок между собой

Перьевой покров формирует прочные и несущие плоскости крыла и принимают непосредственное участие при осуществлении передвижений в воздухе. Все перья разделены по группам в зависимости от строения и от той функции, которую они выполняют в организме птиц (рис.22).



Рисунок 22 – типы перьев птиц

Разнообразие перьев связано с их различными функциями: во-первых, терморегулирующая функция (пуховое перо), во-вторых, создают обтекаемый контур тела (маховые и кроющие), и, в-третьих, образуют те опорные плоскости, которые обуславливают полет птиц. При изучении полета птиц стоит рассмотреть основных три группы перьев, которые принимают непосредственное участие в осуществлении данного процесса [Шестакова, 1971].

Маховые перья– самые крупные, занимающие около 90% всей площади крыла. Именно они образуют прочные несущие поверхности. Маховые перья расположены относительно друг друга так, что каждое маховое налегает черепицеобразно своим наружным краем на внутренний край дистально расположенного соседнего пера. Поэтому под действием давления воздуха, перья на распрямленном крыле плотно прижимаются друг к другу и формируют непроницаемую для воздуха поверхность. Именно маховые перья обеспечивают подъемную *силу тяги* во время полета.

В зависимости от места прикрепления основания маховых перьев к скелету крыла различают: 1) первостепенные маховые (большие маховые) – прикрепляются к кистевому отделу крыла; 2) второстепенные маховые (малые маховые) – прикрепляются к заднему краю предплечья; 3) третьестепенные маховые (имеются у немногих птиц) – прикреплены на дистальном конце плечевой кисти (рис.8).

Рисунок 23 – группы перьев крыла: 1) маховые 1-ого порядка; 2) кроющие 1-ого порядка; 3) перья крылышка; 4) маховые 2-ого порядка; 5) большие кроющие 2-ого порядка; 6) средние кроющие 2-ого порядка; 7) малые кроющие 2-ого порядка; 8) маховые 3-ого порядка; 9) плечевые перья

Количество первостепенных маховых довольно постоянно: у большинства птиц 10, у немногих птиц, например, у фламинго и аистов – 11, у некоторых воробьиных, ласточек – 9.

Количество второстепенных маховых перьев связано с длиной предплечья и варьируется от 6-7, характерное для семейства колибри и до 30, которое можно наблюдать у представителей рода альбатросы. Количество третьестепенных маховых неопределенно и бывают не у всех птиц. Это крупные перья, которые бывают развиты у некоторых очень длиннокрылых птиц и прикрепляются на конце плечевой кости.

Стоит также отметить особую группу малых маховых перьев – *крылышко*(рис.23). Их количество невелико: 3-4 штуки в среднем. Перья крылышка асимметричны, со стержнем, смещенным к передней кромке. Данные перья менее жесткие нежели маховые перья первого и второго порядка. Эти ничем неприметные перья предотвращают потерю скорости при

медленном полете и приземлении. Выполняет функцию, подобную предкрылкам крыла самолета, на законцовке крылышка формируется вихрь, прижимающий поток воздуха к поверхности крыла, позволяя крылу достигать большего угла атаки и увеличивать подъемную силу, предотвращая потерю скорости. Двигая большим пальцем и изменяя щель между крылышком и остальным крылом, птица предотвращает потерю скорости, что необходимо при медленном полёте или приземлении [Якоби, 1966].

Рулевые перья – это крупные перья, по строению близкие с маховыми, которые прикрепляются к заднему концу хвостового отдела позвоночника и образуют так называемый «хвост». Они длинные, жесткие и прочные и позволяют менять направление полета. Хвост птицы также выполняет тормозящую функцию при посадке: раскрывая хвост в полете, птица создает поверхность, которая тормозит ее движение. Как правило, у большинства птиц рулевых перьев 6 пар, т.е. 12 штук, но могут встречаться и 10 и даже 20 штук.

Помимо летательной функции, рулевые птицы, формирующие хвост, имеют большое значение в брачный период: некоторые виды используют хвост для

демонстрации *полового диморфизма* (рис.24). Как правило, самцы отличаются яркими и удлинненными хвостами. Примерами таких птиц являются тетерев-косач (*Lyrurus tetrix*) и обыкновенный фазан (*Phasianus colchicus*).



Рисунок 24 – половой диморфизм на примере обыкновенного фазана (*Phasianus colchicus*): самец изображен слева, самка – справа

Рулевые перья могут служить опорой при лазанье по деревьям, например, большой пестрый дятел (*Dendrocopos major*). Еще одна из функций – балансировка при беге, а при утере летательной способности хвост и вовсе может быть редуцирован. Ярким примером такой птицы является страус обыкновенный (*Struthio camelus*).

Кроющие перья – группа перьев птиц, которая покрывает другие перья, в частности, маховые (частично и рулевые). Эти перья сглаживают поверхность и обеспечивают гладкое течение воздуха при полете (обтекаемость формы тела). Кроющие перья маленькие, расположены на передней летательной перепонке. По их расположению, от заднего края крыла к переднему, и по величине различают: большие кроющие перья, средние кроющие перья, малые кроющие перья, краевые кроющие перья крыла, которые образуют передний край крыла (рис.23). Также кроющие перья покрывают тело птицы.

Маховые, рулевые и кроющие перья объединяются в группу под названием *контурные перья*, так как они покрывают все тело птицы и создают ее внешний контур. Эти перья создают обтекаемую форму тела птицы, которая позволяет потокам воздуха при полете равномерно расходиться вдоль движущегося тела и преодолевать ряд аэродинамических сил.



Закрепим изученный материал:

- 1) К структурному элементу пера не относится:
а) очин; б) бородочки; в) стержень; г) жердочки
- 2) Плотная перьевая структура, способная сопротивляться давлению воздуха в полете, называется:
а) опахало; б) очин; в) стержень; г) пух
- 3) Перья, формирующие хвост птицы, называются:
а) кроющие перья; б) маховые перья; в) рулевые перья; г) контурные перья
- 4) Перья, которые формируют силу тяги, называются:
а) кроющие перья; б) маховые перья; в) рулевые перья; г) контурные перья
- 5) Количество второстепенных маховых зависит от:
а) количества первостепенных маховых; б) длины предплечья; в) размера пера;
г) количества кроющих перьев
- 6) Выберите верные суждения:
1. На окончании крыла располагаются маховые перья;
 2. Рулевые перья позволяют менять траекторию движения птице;
 3. Перьевой покров голубя не имеет маховых перьев;
 4. Контурное перо не имеет стержня.
 5. Маховые перья у большинства птиц прикрепляются к локтевой кости и костям кисти.
 6. Кроющие перья формируют силу тяги.
-  7) Вставьте пропущенные слова в предложение:
Бородочки скрепляются между собой с помощью _____ и образуют прочное и упругое _____



8) Объясните, как происходит предотвращение потери скорости с помощью крылышка?



9) Определите термин по его описанию:

- _____ - часть пера, состоящая из бородок
- _____ - перо, согревающее тело птицы
- _____ - сила, обеспечивающая движение вперед
- _____ - структура пера, которая прикрепляет его к телу птицы
- _____ - небольшой выступ на передней кромке крыла птиц



10) Обозначьте на картинке следующие элементы: рулевые перья, маховые перья, крылышко, кроющие перья (обведите элемент в кружок, подпишите название)



Какие функции выполняют обозначенные элементы?

Ответ: _____



Рекомендуемая литература:

- 1) Александр Р. «Биомеханика»;
- 2) Богданов К.Ю. «Физик в гостях у биолога»;
- 3) Шестакова Г.С. «Строение крыльев и механика полета птиц».

2.5. Форма крыльев и обтекание крыльев потоками воздуха



В данном разделе вы узнаете:

1. *Формы крыльев и характерные для них типы полетов;*
2. *Взаимосвязь между формой крыльев и средой обитания птиц;*
3. *Структурные элементы крыла, обеспечивающие обтекание воздуха.*

2.5.1. *Форма крыльев птиц.* Соотношение в размерах маховых перьев определяет общую конфигурацию крыла и выражается в форме крыла, которая используется в систематике птиц. Форма крыльев, как правило, зависит от способов кормодобывания.

Форма крыла определяет тип и характеристику полёта. Разные формы крыльев отвечают разным компромиссным решениям для создания нужных характеристик, таких как скорость полёта, затраты энергии и манёвренность.

Форма крыла может быть описана двумя параметрами: удлинением и нагрузкой на крыло. *Удлинение крыла* — это отношение размаха крыльев к средней ширине крыла (или квадрат размаха крыльев, разделённый на площадь крыльев). *Нагрузка на крыло* — отношение массы птицы к суммарной площади крыльев [Александр, 1970].

Многие виды птиц могут быть сгруппированы в несколько общих типов по форме крыльев: эллиптические крылья, крылья для скоростного полёта, крылья

с относительно большим удлинением, и крылья для парящего полёта, описанные ниже (рис.25).

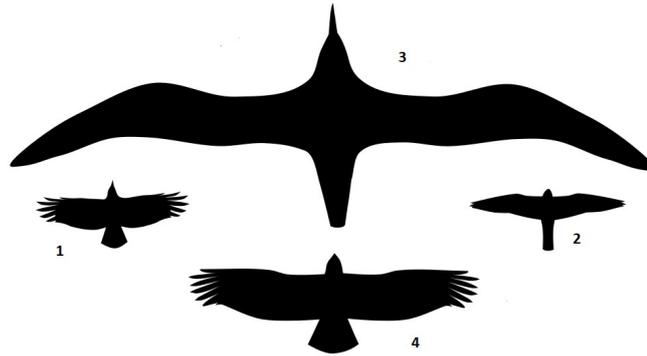


Рисунок 25– типичные формы крыльев: 1 – эллиптические крылья черной вороны (*Corvus corone*); 2 – крылья для скоростного полёта сапсана (*Falco peregrinus*); 3 – крылья серого буревестника (*Puffinus griseus*) с относительно большим удлинением; 4 – крылья степного орла (*Aquila nipalensis*) для парящего полёта

Эллиптические крылья округленные и короткие, с небольшим удлинением, которое позволяет птицам ловко перемещаться в ограниченном пространстве, например в условиях густой растительности. Эти крылья характерны для лесных хищных птиц, например, ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*) и многих воробьинообразных, особенно немигрирующих видов (у мигрирующих видов птиц для продолжительных перелетов длинные крылья). Помимо этого, такая форма крыльев встречается у видов, которые избегают хищников за счёт быстрого взлёта: серая куропатка (*Perdix perdix*).

Крылья для скоростного полёта короткие и заострённые, имеют высокую нагрузку на крыло и обеспечивают большую частоту взмахов для наибольшей возможной скорости за счёт значительных затрат энергии. Такой тип крыльев характерен для небольших птиц и характеризуются очень большой относительной длиной кисти крыла: черный стриж (*Apus apus*) и ласточка-касатка (*Hirundo rustica*).

Крылья с относительно большим удлинением очень длинные и стройные, для них характерна низкая нагрузка на крыло, и они используются для

медленного полёта, почти парения. Характерны для океанских планирующих птиц.

Крылья для парящего полёта широкие и характерны для больших сухопутных птиц, таких как орлы, грифы, пеликаны и аисты. Глубокие бороздки на концах крыльев между маховыми перьями уменьшают силу сопротивления воздуха, а относительно короткий размер позволяет подниматься с поверхности земли без потребности в значительном разгоне [Бабенко, 1986].

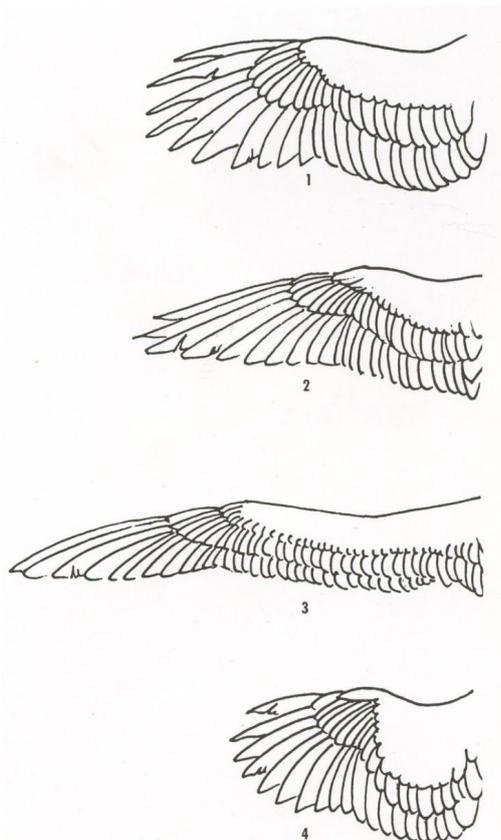


Рисунок 26 – формы крыльев птиц в профиле: 1 – крылья для парящего полета; 2 – крылья для скоростного полёта; 3 – крылья с относительно большим удлинением; 4 – эллиптические крылья

2.5.2. Влияние перьев на обтекание крыльев потоками воздуха при полете

В распрямленном крыле перья располагаются в строго определенном порядке. Поскольку передняя летательная перепонка представляет собой складку кожи, покрытую очень мелкими кроющими перьями, то ее передний край, разрезающий воздух при полете очень тонкий, закругленный. В области кистевого сгиба и скелета пальцев он несколько толще. Дистальный конец края

крыла, образованный наружным краем махового, очень тонкий и даже заостренный, что приспособило его к рассеканию встречных потоков воздуха.

Прикрепляясь к концевой фаланге II пальца, самое дистальное большое маховое или заменяющее его следующее дистальное маховое расположено на полностью развернутом крыле приблизительно перпендикулярно к встречным потокам воздуха. Поэтому наружное опахало крайнего махового всегда отличается более крепким строением (рис.27).



Рисунок 27 – структурные элементы, формирующие рельеф крыла

Бородки и бородочки образуют на поверхности крыла определенную структуру, по которой струйчато растекаются потоки воздуха при полете. В зависимости от того, какое опахало пера выступает на поверхности в черепицеобразном налегании перьев друг на друга (прямое или обратное налегание кроющих), а также от строения пеннулбородочек, определяющих рельеф поверхности, в том или ином отрезке поверхности крыла имеются разные характер и направление потоков воздуха [Бородулина, 1965].

Бородки могут выступать над поверхностью крыла, образуя ворсинки или реснички. Именно они создают рельеф крыла. По этому рельефу потоки воздуха двигаются по-разному, в зависимости от расположения бородок. Направление струй потоков воздуха соответствует направлению бородок.

Надо отметить то, что на верхней стороне крыла ворсинок и ресничек меньше, чем на нижней стороне. Это создает разность рельефов поверхности двух сторон крыла, что будет означать то, что поток воздуха по «гладкой»

верхней поверхности крыла будет проходить быстрее, чем по нижней стороне. Такая разница скорости обтекания будет непосредственно увеличивать подъемную силу крыла.



Закрепим изученный материал:



1) Какой фактор предопределяет форму крыла птиц?

а) кормодобывание; б) соотношение в размерах рулевых перьев; в) размер птицы; г) количество контурных перьев



2) Параметры, которые описывают форму крыльев, называются:

а) подъемная сила и сила тяги; б) размер крыла и размер перьев; в) удлинение крыла и нагрузка на него; г) сила тяжести и подъемная сила



3) Потoki воздуха струйчато растекаются по поверхности крыла благодаря структуре, образованной:

а) скелетом крыла птицы; б) бородками и бородочками; в) маховыми перьями; г) крылышком



4) Разность рельефов нижней и верхней поверхности крыла способствует (выберите два верхних варианта ответа):

а) образованию силы тяги; б) разнице скорости обтекания воздуха; в) увеличению подъемной силы; г) изменению угла атаки



5) Для воробьинообразных характерна форма крыльев:

а) эллиптическая форма крыльев; б) крылья для скоростного полета; в) крылья для парящего полета; г) крылья с относительно большим удлинением крыла



6) Объясните, почему рельеф нижней и верхней поверхности крыла отличаются друг от друга?

Ответ: _____

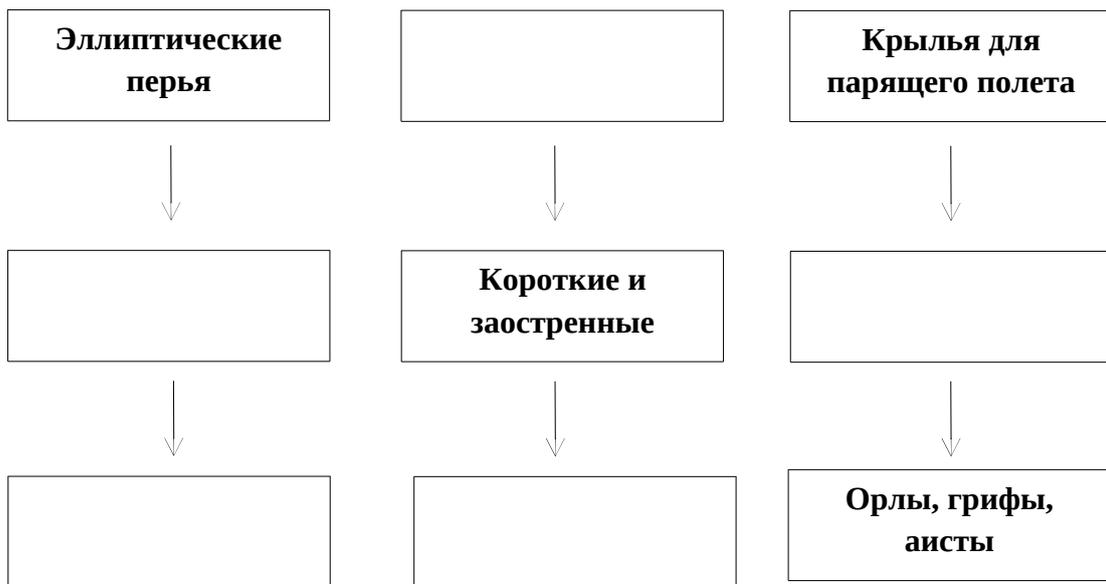


7) Почему наружное опахало крайнего махового пера отличается более крепким строением?

Ответ: _____



8) Заполните схему:



9) Укажите термин, используя его описание:

_____ - отношение размаха крыльев к средней ширине крыла

_____ - отношение массы птицы к суммарной площади крыльев



10) Установите соответствие между формой крыльев и птицей, для которых данная форма характерна:

Сокол-сапсан (*Falco peregrinus*)

**Крылья для
скоростного
полета**

Сероголовый альбатрос
(*Thalassarche chrysostoma*)

**Эллиптические
перья**

**Крылья для
парящего полета**

Степной орел (*Aquila nipalensis*)

**Крылья с
большим
удлинением**

Ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*)

Рекомендуемая литература:

- 1) Александер Р. «Биомеханика»;
- 2) Бородулина Т.Л. «Приспособления в оперении птиц к обтеканию воздушными потоками»;
- 3) Мартынов А.К. «Экспериментальная аэродинамика»

ГЛАВА 3. БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛЕТА

Аэродинамика полета птиц трудна и до сих пор известна лишь в общих чертах. Главная причина состоит в том, что исследование птиц в полете технически очень сложно проводить. Обычно это делают в аэродинамических трубах, что требует длительного предварительного приучения птиц и сложного исследовательского оборудования.

Сущность полета птиц заключается в создании при помощи крыльев аэродинамических сил – подъемной и поступательной, которые будут обеспечивать передвижение птиц в воздухе. При полете на крыло влияют 4 основные силы: подъемная сила, сила тяжести, сила тяги, угол атаки. Каждая часть крыла отвечает за формирование той или иной силы.

Морфофункциональное строение птицы, изученное ранее во второй главе, позволяет формировать не только аэродинамические силы, но и ряд действий, позволяющий птице взлететь и успешно приземлиться. Под этими действиями подразумеваются этапы полета, которые будут рассмотрены в этой главе.

Птицы, передвигаясь в воздухе, прилагают к движению разные действия и используют разные основы аэродинамики. Выделяют два типа полета, кардинально отличающиеся друг от друга: 1) пассивный полет без взмахов крыльев; 2) активный полет под средством движения крыльев. С аэродинамической точки зрения, проще устроен первый типа полета. Каждый тип полета имеют несколько видов, о которых будет сказано чуть позже.

3.1. Подъемная сила и угол атаки



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Характеристики и функции подъемной силы и угла атаки;
- 2) Способы формирования подъемной силы крыла;

- 3) Влияние угла атаки на подъемную силу и траекторию движения птицы;
- 4) Влияние силы тяжести (силы гравитации) и лобового сопротивления на крыло птицы;
- 5) Новые понятия «сила тяжести», «лобовое сопротивление».

Подъемная сила – сила, которая поднимает птицу вверх. Её создает крыло птицы и возникает она между туловищем и кистевым изгибом. Крыло птицы имеет не плоский профиль, а выгнутый (выгнутая пластина крыла). Передний край крыла более толстый (за счет скелетных структур, мышц и большого количества перьев), задний – тонкий и эластичный (образован верхними частями маховых перьев). Потoki воздуха, обтекающие крыло, должны одновременно встретиться у окончания крыла. При этом очень важно, чтобы воздушные струйки обтекали профиль крыла птицы плавно, не отрываясь от его поверхности, и не превращались в воздушные вихри, как это бывает при обтекании плоской пластины [Кац, 1974].



Рисунок 28 – подъемная сила крыла птицы

Струя воздуха, огибающая крыло, должна пройти по верхней выгнутой стороне более длинный путь, чем по вогнутой нижней. Чтобы оба воздушных потока достигли оконечности крыла одновременно, воздушный поток над крылом должен двигаться быстрее, чем под крылом. Поэтому скорость течения воздуха над крылом увеличивается, а давление уменьшается. Такая закономерность отражается в уравнении Бернулли – уравнение связи между

скоростью и давлением: где скорость больше, там давление меньше. Следовательно, давление сверху крыла меньше, чем снизу. Разность давлений под крылом и над ним создает подъемную силу, направленную вверх и противодействующую силе тяжести. Данная аэродинамическая сила действует под некоторым углом к потоку воздуха (рис.28).

Ранее было изучено то, что крыло птицы за счет перьевого покрова имеет разную шероховатость: верхняя поверхность крыла гладкая, а нижняя имеет выступающие бородки и бородочки, которые создают неровности поверхности. Эти неровности обеспечивают замедление прохождения воздуха под крылом, позволяя воздуху по выгнутой верхней поверхности достичь оконечности как можно быстрее и формируя большую разницу между давлением над крылом и под крылом. Высокое давление, образующееся под крылом, выталкивает крыло вверх. Птица, опуская крылья каждый раз, будет подниматься вверх все выше и выше, как по ступенькам, благодаря подъемной силе, которая действует как пружинка. Надо отметить, что птица машет крыльями не просто вверх-вниз, а поворачивает их вокруг своей оси, проходящей параллельно размаху крыла [Александр, 1970].

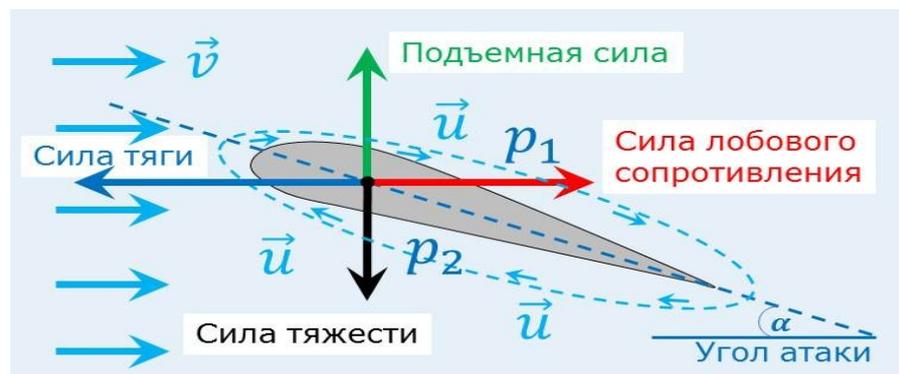


Рисунок 29 - силы, влияющие на крыло птицы при полете

Подъемная сила преодолевает сразу две силы, оказывающие на неё влияние: *силу тяжести* (сила гравитации) и *силу лобового сопротивления* (сила, которая параллельна потоку воздуха) (рис.29).

Сила

гравитации давит на тело птицы сверху вниз, притягивая ее к Земле. Однако подъемная сила, образуемая крыльями, имеет более высокие показатели, нежели сила тяжести, поэтому она преодолевает оказывающееся на нее давление и поднимает птицу вверх. Сила лобового сопротивления оказывает влияние при движении птицы вперед, однако сила тяги, образуемая маховыми перьями крыла, преодолевает это влияние. Более подробно эта тема будет рассмотрена при изучении силы тяги [Мартынов, 1950].

Подъемная сила зависит от величины и формы крыла. Важны также и скорость, с которой воздух обтекает крыло (скорость встречного воздушного потока), и угол, под которым поток воздуха достигает переднего края крыла (*угол атаки*) (рис.29).

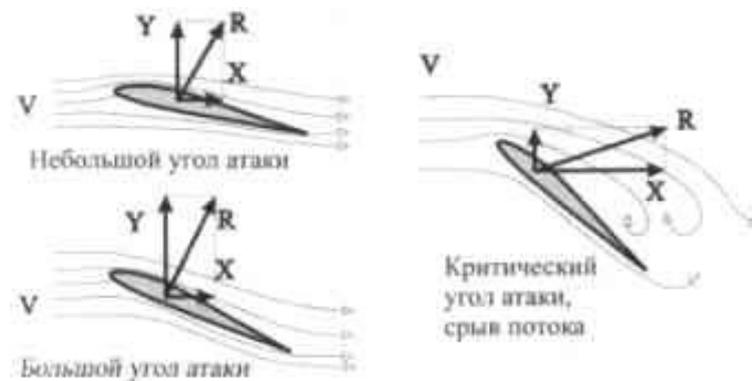


Рисунок 30 - Влияние угла атаки на положение крыла

Углом атаки называется угол, образованный хордой крыла и направлением встречных потоков воздуха. Изменяя угол атаки, птица влияет на подъемную силу и силу лобового сопротивления. Указанный угол означает, под каким углом крыло атакует воздух, или, что все равно, под каким углом поток воздуха атакует крыло. Максимальную подъемную силу крыло имеет при углах атаки в 16-24°. Это - критические углы атаки (рис.30). Если птица поворачивает крыло слишком круто относительно направления воздушного потока, то струя воздуха как бы отрывается и птица начинает падать. И одновременно с падением происходит и торможение полета перед приземлением, так как увеличивается лобовое сопротивление крыла. Поэтому

подъемная сила крыла будет формироваться только в случае положительного угла атаки [Казневский, 1985].

Помимо влияния на подъемную силу, угол атаки также влияет на положение птицы в пространстве. Изменяя положение крыла, птица может изменять траекторию своего движения.

Если птица летит на одном горизонтальном уровне, то её подъемная сила равна ее весу, если подъемная сила больше ее веса, то она поднимается, при подъемной силе, меньше ее веса, птица падает.



Закрепим изученный материал:

- 1) Сила, которая обеспечивает движение птицы вверх, называется:
а) сила тяжести; б) угол атаки; в) подъемная сила; г) сила тяги
- 2) При подъеме вверх давление под крылом является:
а) высоким; б) низким; в) давления под крылом в момент подъема нет; г) равным давлению над крылом
- 3) Подъемная сила при полете не преодолевает:
а) силу тяжести (гравитации); б) силу лобового столкновения; в) угол атаки
- 4) Изменяя угол атаки, птица оказывает влияние на:
а) силу тяги; б) силу тяжести; в) гравитацию; г) подъемную силу
- 5) Выберите неверное утверждение:
а) подъемная сила образуется за счет разности давления под крылом и над крылом;
б) подъемная сила зависит от величины и формы крыла;
в) подъемная сила обеспечивает движение птицы вперед;
г) подъемная сила формируется только при положительном угле атаки.
-  6) Почему происходит разность давления под и над крылом птицы?

Ответ: _____



7) Объясните взаимосвязь между углом атаки и подъемной силой крыла?

Ответ: _____



8) На рисунке изображены два профиля крыла птицы. Какое крыло будет развивать большую подъемную силу и почему?



Ответ: _____



9) Укажите термины, используя их описание:

_____ - сила, препятствующая движению тел в жидкостях и газах;
 _____ - углы атаки, которые имеют показатели 16-24°;
 _____ - сила, с которой Земля притягивает тело, находящееся на поверхности или вблизи неё.



10) Нарисуйте схематично профили крыла птиц

Профиль крыла птицы, имеющий
небольшой угол атаки

Профиль крыла птицы, имеющий
критический угол атаки



Рекомендуемая литература:

- 1) Богданов К.Ю. «Физик в гостях у биолога»;
- 2) Казневский В.П. «Аэродинамика в природе и технике»;
- 3) Кац Ц.Б. «Физика и живая природа».

3.2. Сила тяги и центр тяжести тела



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Характеристику и функцию силы тяги;
- 2) Условия формирования тяговой силы и её влияние на полет;
- 3) Особенности размещения силы тяжести и центра приложения сил у птиц;
- 4) Новые понятия «супинация», «пронация», «удельный вес», «центр тяжести».

Сила, необходимая для движения животного в воздухе по прямому пути, состоит из двух компонентов – подъемной силы, которая была изучена ранее, и силы тяги. Сила тяги – сила, обеспечивающая движение птицы

вперед. Сила тяги формируется одновременно с подъемной силой с помощью крыльев. При подъеме крыла вверх маховые несколько поворачиваются, пропуская воздух, благодаря этому подъем совершается с меньшим усилием. Этот поворот (наклон) птице нужен для придания разных углов атаки крыльям, т.е. для различных встреч профиля крыла с потоком воздуха. Двигающаяся вверх и назад вершина крыла создает некоторую дополнительную силу тяги, а основная часть крыла по-прежнему создает подъемную силу [Кокшайский, 1964].

Кисть с перьями работает как пропеллер – прогоняют воздух, тем самым обеспечивая силу тяги. Условно движение кисти можно разделить на две части: 1- это взмах вниз, где происходит перекручивание пера, в этот момент перья плотно сомкнуты друг с другом и при перекручивании птица как бы отталкивается от воздуха. Второе движение – это взмах вверх, где происходит подгибание крыльев, в этот момент перья немного разворачиваются, чтобы уменьшить действие другой силы – сопротивления воздуха (рис.31). Для удобства крылья подгибаются [Богданов, 1986].



Рисунок 31- схема положения маховых перьев в поперечном разрезе: направление сопротивления воздуха (стрелки) I- при опускании крыла и II – при его подъеме

При формировании силы тяги большое значение имеют маховые перья первого и второго порядка: именно они переворачиваются и создают пропеллирующий эффект, в результате чего возникает тяговая сила, которая движет крыло и птицу вперед (рис.32).



Рисунок 32 – Осуществление движения вперед благодаря силе тяги

В движении кистевого отдела крыла при взмахе можно различать следующие фазы: 1) опускание и пронация кисти, 2) сгибание, спускание и супинация кисти; 3) поднимание, распрямление и пронация. Пронация кисти при подъеме крыла происходит быстро и примерно занимает $1/5$ времени взмаха.

Положение разных отделов крыла во время взмахов в отношении воздушных потоков, обтекающих крыло при машущем полете, меняется. Как уже было сказано выше, при опускании кисти до горизонтального положения происходит пронация, начинающаяся с конца крыла и распространяющаяся к основанию кисти. В результате этого положительные углы атаки на протяжении кистевого отдела крыла по мере опускания его вплоть до горизонтального положения уменьшаются к вершине крыла. Положительный угол атаки всех сечений крыла в этой фазе взмаха обеспечивает образование подъемной силы. Вследствие пронации крыла и наклона аэродинамических сил вперед – эта фаза период наибольшего образования тяги [Енохович, 1983].

Наблюдая за птицами в небе, может показаться, что птица машет крыльями вверх-вниз и летит вперед. Но, изучив формирование подъемной силы и силы тяги, становится ясно, что это не так. Движение крыльев можно охарактеризовать как «загребающие»: птица прокручивает крылья по кругу и формирует две силы разных действий.

Еще одной особенностью, которая позволяет птице осуществлять полет, является *удельный вес птицы*. Он очень мал у птиц, но при этом варьируется у разных видов птиц. Так, например, водоплавающие птицы, такие как кряква (*Anas platyrhynchos*) или лебедь-шипун (*Cygnus olor*) имеют больший удельный вес, нежели птицы только летающего характера. Наиболее тяжелыми из летающих птиц являются дрофы (*Otistarda*) и пеликаны (*Pelecanus*), достигающие веса 13-20 кг. Но, как правило, вес большинства птиц небольшой, а некоторые птицы, такие как колибри и вовсе могут весить 1,8 г.

С приспособлением к полету связано положение *центра тяжести тел*птицы около сердца, над грудиной, ниже и позади плечевого сочленения. Около этого места сосредоточены все наиболее тяжелые органы. С этой особенностью организма птиц связано и строение мускулатуры конечностей: та часть конечностей, что ближе к брюху и груди, более мясистая, а окончания конечностей представлены сухожилиями и небольшими мускульными пучками. Такое строение мускулатуры обеспечивает устойчивость тела в полете и осулавливает то, что вытягивание конечностей в воздухе имеет большею частью сравнительно небольшое значение в смысле перемещения центра тяжести тела.

Таким образом, можно сказать, что центр тяжести у птицы сместился на нижнюю часть тела на брюхо. Это является отличительной особенностью птиц от млекопитающих, у которых центр тяжести расположен на спине (рис.33).

Центр тяжести—это такая точка приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на все частителя, которая не изменяет своего положения при любых переворотах тела.

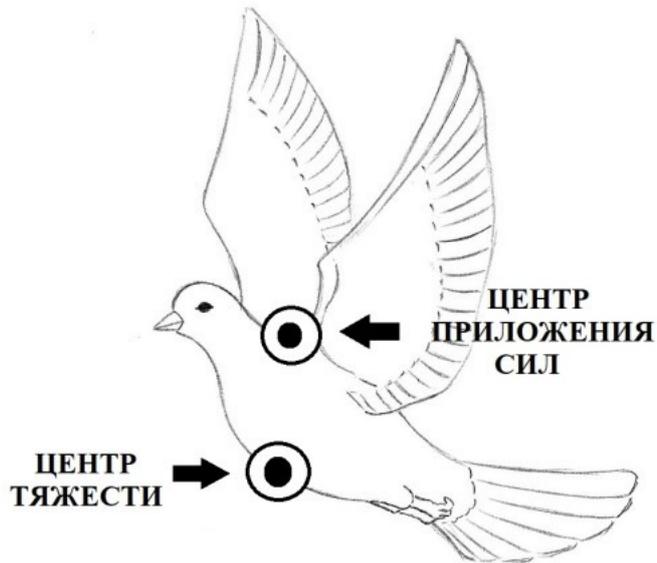


Рисунок 33 – схематичное расположение центра тяжести тела и центра приложения сил у птицы

Положение центра тяжести не всегда постоянно и даже у одной и той же птицы изменяется в зависимости от взаимного положения в данный момент отдельных частей тела. В этом отношении большое значение для полета имеет подвижность шеи, дающая возможность посредством приближения и отдаления головы от туловища устанавливать равновесие тела при полете. При полете птиц, имеющих длинные ноги, они обычно вытянуты назад и происходит смещение центра тяжести к ним, что компенсируется вытягиванием головы вперед или изменением положением крыльев.

Центр приложения сил у птицы сосредоточен параллельно центру тяжести – на спине между крыльями. Такое расположение позволяет птице при полете удерживать равновесие в воздухе, не переворачиваться, а также создает провисание птице, которые необходимо в воздушном пространстве.



Закрепим изученный материал:



1) Основная функция силы тяги – это:

- а) подъем птицы вверх; б) изменение направления движения; в) преодоление силы тяжести; г) обеспечение движения вперед

2) В формировании силы тяги принимают участие:

а) кроющие перья; б) маховые перья; в) контурные перья; г) рулевые перья

3) Удельный вес птицы является:

а) высоким; б) низким; в) равным силе тяжести

4) Центр тяжести у птиц находится:

а) на спине; б) на нижней части тела; в) на хвосте; г) на голове

5) Центр приложения сил у птиц сосредоточен:

а) на спине; б) на нижней части тела; в) на хвосте; г) на голове

 6) Почему при взмахе вниз происходит перекручивание первостепенных маховых перьев?

Ответ: _____

 7) Почему центр приложения сил находится параллельно центру тяжести?

Ответ: _____

 8) Укажите термины, используя их описание:

_____ - сила, обеспечивающая движение птицы вперед;

_____ - физическая величина, которая определяет, как вес какого-либо тела влияет на объем данного тела;

_____ - вращательное движение конечности или ее части внутрь;

_____ - вращательное движение конечности или ее части кнаружи.



9) Установите последовательность действий при вращательном движении кисти крыла:

а) взмах крыла вверх; б) перекручивание маховых перьев; в) разворот маховых перьев; г) взмах крыла вниз

Ответ: _____



10) Какие аэродинамические силы обеспечивают полет птицы? Подпишите их на профиле крыла птицы и укажите их расположение.

Профиль крыла птицы



Рекомендуемая литература:

- 1) Александер Р. «Биомеханика»;
- 2) Мартынов А.К. «Экспериментальная аэродинамика»;
- 3) Шестакова Г.С. «Строение крыльев и механика полета»;
- 4) Якоби В.Э. «Механизация и автоматика крыла птиц».

3.3. Режимы полёта птиц



В данном разделе вы узнаете:

- 1) Основные этапы полета птиц: взлет и приземление;
- 2) Особенности этапов полета на примере разных видов птиц;

3) Типы полетов, характерные для представителей различных групп птиц.

3.3.1. Этапы полёта: взлёт и приземление. В основе **взлета** лежит приобретение птицей начальной скорости. Эта начальная скорость птицы возникает различными способами. В одних случаях птица использует силу встречного ветра. Многие морские птицы, например, серебристая чайка (*Larus argentatus*) взлетают непосредственно с воды, путем поворота на воде своих крыльев навстречу ветру. Силу встречного ветра используют обыкновенно для взлета серые вороны (*Corvus cornix*) и многие другие птицы, начинающие свой полет почти всегда навстречу ветру, и лишь достигении определенной скорости изменяют на нужное им направление полета.

Многие птицы, например, белый аист (*Ciconia ciconia*) приобретают начальную скорость, бросаясь с высоких объектов вниз, используя бросок для подъемной силы (рис.34).



Рисунок 34 – взлет белого аиста (*Ciconia ciconia*)

В иных случаях начальная скорость для полета приобретается с помощью разбега птицы. Примерами таких птиц являются лебеди, бакланы. А вороны осуществляют взлет при помощи нескольких прыжков, сопровождающихся быстрыми взмахами.

Многие крупные птицы начинают взлет с того, что делают несколько больших почти горизонтальных взмахов и используют образующиеся при этом подъемную силу и тягу в качестве начальной скорости. Особенно заметно это проявляется у птиц с разрезанными крыльями, перья которых при взлете всегда сильно раздвигаются на вершине, например, у орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*).

Важную роль при этом играет оттопыривающееся крылышко, которое направляет потоки воздуха через щель и таким способом препятствует срыву потока, что приводит к уменьшению лобового сопротивления.

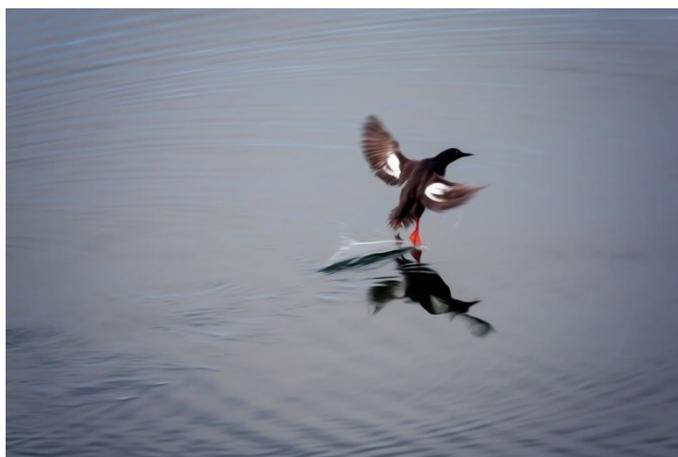


Рисунок 35 – приземление птицы в воде

Сущность **приземления** заключается в уменьшении до нуля скорости полета. Это достигается разными видами птиц различными путями. В одних случаях птица приземляется посредством скользящего полета, при котором в результате сопротивления тела, происходит постепенное замедление движения. В последний момент перед приземлением птица увеличивает сопротивление тела, ставя крылья навстречу движению и отпуская хвост, и, кроме того, опускается на хорошо пружинящие ноги как степной лунь (*Circus macrourus*). Почти все птицы при посадке раздвигают маховые перья на концах крыльев и этим получают дополнительную подъемную силу, предохраняющую их от падения в результате уменьшения скорости. Многие водоплавающие птицы увеличивают сопротивление тела тем, что перед остановкой касаются ногами воды, чем создают дополнительную силу трения

(рис.35). Подобный способ приземления также используют и некоторые птицы на суше, производя при посадке пробег [Рогачева, 1988].

В других случаях сведение скорости полета к нулю производится посредством слета птицы ниже избранного пункта приземления и последующего подъема, который погашает скорость полета. Во всех случаях приземление птица увеличивает угол атаки и площади крыльев и хвоста, создавая поверхности, которые обуславливают увеличение лобового сопротивления, ведущего к замедлению действия. При этом опять же большую роль играет крылышко, регулирующее скольжение потоков воздуха по крылу и препятствующее срыву воздушных потоков, которые привели бы к падению птицы. Поэтому крылышко имеет сильное развитие у лесных птиц, которым приходится часто взлетать и осуществлять посадку, и относительно слабо оно развито у редко сажающихся птиц, например, гагары.

Мягкость торможения достигается еще и тем, что перед приземлением птица делает несколько взмахов крыльев, направленных против движения. Этим достигается активное торможение.

Во всех случаях приземления огромное значение имеет согнутость ног. Задние конечности выполняют роль пружин, уменьшающих действие толчка при опускании на землю. Произведя перед посадкой замедление, птица теряет свою устойчивость и легко может попасть под действие различных воздушных потоков. Для того, чтобы это не произошло, некоторые крупные птицы вытягивают вниз голову и задние конечности для перемещения центра тяжести ниже центра приложения сил. В некоторых случаях, при отвесных посадках, когда черный коршун (*Milvus migrans*) спускается на свою добычу, птица распускает и свешивает свой хвост, опускает свои распростертые крылья и затем спускается наподобие парашюта.

3.3.2. Типы полета птиц. **Пассивный полет** делится на два основных вида: скользящий полет и планирование. Планирование, в свою очередь, бывает динамическим и статическим.

Скользкий полет возможен только при негоризонтальном полете, именно когда он направлен косо книзу. Сила тяжести птицы будет являться движущей силой в данном случае. Отношение площади крыльев к весу птицы обуславливает при определенной скорости и при определенном положении крыла по отношению к встречному течению воздуха (угол атаки) угол планирования, т. е. угол направления полета к горизонтальной плоскости. Чем больше площадь крыла, чем меньше вес птицы и чем быстрее полет, тем меньше может быть угол планирования. Уменьшая площадь крыльев, птица может достигнуть большей скорости скольжения и может эту быстроту движения использовать для подъема вновь на известную высоту.

Птицы могут управлять скользким полетом двумя способами: 1) увеличивать и уменьшать площадь плоскости опоры о воздух, расправляя или складывая крылья и хвост; 2) птица может перемещать центр опоры о воздух по отношению к центру тяжести, что влияет на изменение угла атаки.



Рисунок 36 – парение степного орла (*Aquila palensis*)

Второй формой пассивного полета является *парение*. Главное отличие парения от скользкого полета в том, что в первом случае птица движется за счет потоков воздуха вверх или «парит» над землей, а во втором случае птица движется вниз. Парение используют многие крупные птицы: дневные хищники, аисты, имеющие относительно малую нагрузку на крыло. Для птиц, использующих парение, характерно наличие крыльев для парящего полета (рис.36).

Необходимые для парения восходящие потоки воздуха обуславливаются неровностями ландшафта или неравномерным нагреванием воздуха. При неровностях ландшафта ветер, встречая на своем пути возвышения, начинает обтекать его и устремляться вверх вдоль склона возвышения. И получающиеся потоки воздуха и используются птицами для парения.

Регулирование скорости данного типа полета производится птицей посредством изменения угла атаки и размера несущей плоскости крыла. Расправление крыла (увеличение его несущей поверхности) обуславливает подъем, складывание крыла – опускание птицы.

Парение может быть статистическим и динамическим. *Статическое парение* обусловлено действием восходящих потоков воздуха, а *динамическое парение* основано на использовании в качестве энергии разности в скоростях и направлениях отдельных слоев более или менее горизонтальных воздушных течений. Как правило, первый тип парения характерен для крупных птиц суши, а второй – для морских птиц [Виноградов, 1951].

Активный полет характеризуется ритмичным подниманием и опусканием крыльев. Его также еще называют и *машущий полетом*. Во время машущего полета происходит образование двух сил, которые движут птицу: подъемной и силы тяги. Именно на примере машущего полета были рассмотрены основные физические силы, влияющие на крыло при полете. Изменяя площадь крыла и угол атаки, варьируя частоту взмахов, птица изменяет величину тяги и подъемной силы, меняя тем самым скорость и высоту полета. Различия в размерах и форме тела, размерах и форме крыльев и хвоста, в интенсивности и амплитуде взмахов крыла определяют свойственный каждому виду характер полета.

Машущий полет принято также разделять на несколько видов: *пропеллирующий полет, трепещущий полет, волнообразный, вибрационный и хлопающий*.

При пропеллирующем полете сохраняются условия скользящего полета; к ним присоединяется еще поступательная сила — сила тяги, которая достигается

взмахами крыльев. Чем больше скорость движения птицы, тем легче птице держаться в воздухе; поэтому понятно, что на получение именно начальной скорости птице приходится затрачивать больше всего энергии. Встречный ветер в этом отношении оказывает птице некоторую помощь, так как при определенной силе и определенном отношении площади крыльев к весу птицы ветер может поднять птицу вверх подобно воздушному змею. Поэтому все птицы при ветре поднимаются на крылья, становясь против ветра. В других случаях первоначальная скорость достигается разбегом или прыжками, после чего уже птица поднимается вверх. Или, наконец, птице приходится делать частые и сильные взмахи крыльями, чтобы получить начальную скорость. При этом крылья иногда ударяются концами одно о другое за спиной, производя у разных видов птиц характерный звук при подъеме. Затрата энергии при подъеме так велика, что птицы, которым приходится несколько раз кряду подниматься и спускаться, легко обессиливают. Есть птицы, которые вовсе не могут подняться с горизонтальной поверхности и начальную скорость, необходимую для полета, получают, падая вниз с высоких предметов, как, например, стрижи [Васильев, 1953].

Вибрационный полет (пульсирующий) свойственен многим мелким птичкам: королькам, пеночкам, мухоловкам. Характеризуется частым взмахом крыльев, что иной раз не позволяет разглядеть движение крыльев (рис.37).



Рисунок 37 – желтоголовый корольк (*Regulus regulus*) в полете

С пульсирующим полетом сходен висячий, или *трепещущий полет*, свойственный многим хищникам — пустельге обыкновенной (*Falco tinnunculus*),

мохноногим канюкам (*Buteolagopus*), а также малым крачкам (*Sternula albifrons*) и некоторым другим птицам. Быстро махая крыльями, птицы повисают в воздухе над одним местом, высматривая добычу. Жаворонки тоже обладают способностью во время пенья висеть в воздухе.

Волнообразный полет характерен для многих воробьиных птиц, скворцов, дятлови других птиц. Для данного полета характерно то, что пропеллирующий полет сменяется небольшим периодом скольжения, во время которого птица теряет высоту.

Хлопающий полет применяют только курообразные птицы, способные с места набирать большую скорость. Он характеризуется быстрыми шумными взмахами с большой амплитудой.



Закрепим изученный материал:

- 1) Бросок для начала формирования подъемной силы используют:
- а) лебеди; б) вороны; в) бакланы; г) аисты
- 2) К активному полету не относится:
- а) машущий полет; б) трепещущий полет; в) скользящий полет; г) хлопающий полет
- 3) Хвост птицы при торможении:
- а) поджат плотно к туловищу; б) опущен вниз; в) поднят вверх
- 4) Энергозатратным полетом является:
- а) парение; б) скользящий полет; в) вибрационный полет
- 5) Выберите неверное утверждение:
- а) цевка смягчает торможение птицы, выполняя роль «пружины»;
- б) крылышко более развито у лесных птиц;
- в) вибрационный полет свойственен большим по размеру птицам;
- г) некоторые птицы взлетают с помощью разбега



6) Какие различия между статическим парением и динамическим?

Ответ: _____

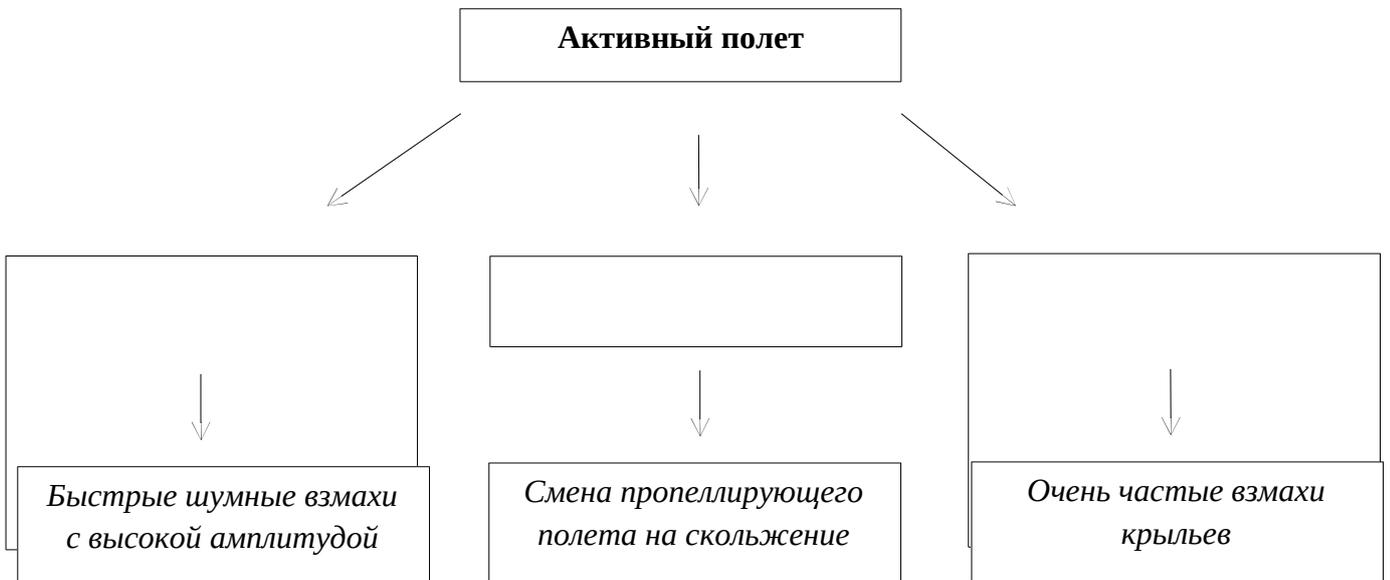


7) Почему у лесных птиц сильно развито крылышко?

Ответ: _____



8) Заполните схему:



9) Какие показатели определяют вид активного полета?

Ответ: _____



10) Соотнесите тип полета и фотографию, соответствующую ему



Черный коршун (*Milvus migrans*)



Колибри-пчёлка (*Mellisuga helenae*)



Кряква (*Anas platyrhynchos*)



Рекомендуемая литература:

- 1) Васильев Г.С. «Основы полета моделей с машущими крыльями»;
- 2) Виноградов И.Н. «Аэродинамика птиц-парителей»;
- 3) Рогачева Э.В. «Птицы Средней Сибири. Распространение, численность, зоогеография»;
- 4) Флинт В.Е. «Птицы Европейской России. Полевой определитель».

ПРОПЕЛЛИРУЮЩИЙ ПОЛЕТ
ПАРЕНИЕ

Выводы

1) Активным и пассивным полетом среди животных обладают крылатые насекомые, рукокрылые и птицы. Кроме этого, планирование характерно для летучих рыб, веслоногих лягушек, летучих драконов, летучих змей, белок-летяг.

2) Самый совершенный полет характерен для птиц, так как именно представители данного класса смогли в наибольшей степени адаптироваться к воздушному пространству, сформировав огромный спектр различных приспособлений. Главными преобразованиями являются крылья и перьевой покров, которые формируют поверхности, обеспечивающие птице подъем вверх и движение вперед. Происходит адаптация систем внутренних органов как следствие приспособления к полету, среди которых можно выделить: жесткость, прочность и легкость скелета, формирование воздушных мешков, редукция фалангов пальцев.

3) Полет птицы осуществляется за счет следующих аэродинамических сил: подъемная сила, сила тяги крыла - благодаря первостепенным маховым перьям, угол атаки крыла и сила тяжести, за счет смещения центра тяжести на нижнюю часть тела по отношению к центру приложения сил.

4) Методическое сопровождение (постановка познавательных задач на изучение данного материала; содержание материала по изучаемой теме; задания на самоконтроль по разделу; рекомендуемая литература по данной теме для дополнительного чтения и система сигналов-символов) обеспечивает доступность и глубокое освоение содержания хрестоматийных материалов.

Содержание соответствует требованиям ФГОС к результатам освоения основной образовательной программы основного общего образования.

1. Александер Р. Биомеханика. М.: Мир, 1970. 341 с.
2. Бабенко В.Г., Кузнецов А.А. Птицы Красной книги СССР. М.: Педагогика, 1986. 144 с.
3. Бацылев, Е. Г. Зоология: учебник. М.: Высшая школа, 1985. 368 с.
4. Биологический энциклопедический словарь. / Под ред. Гилярова М.С. и др. М.,: Советская Энциклопедия, 1989. 864 с.
5. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога: учебное пособие. М.: Наука, 1986. 141 с.
6. Бородулина Т.Л. Приспособления в оперении птиц к обтеканию воздушными потоками. М.: Наука, 1965. 233 с.
7. Васильев Г.С. Основы полета моделей с машущими крыльями. М.: Оборонгиз, 1953. 124 с.
8. Виноградов И. Н. Аэродинамика птиц-парителей. М.: ДОСАРМ, 1951. 129 с.
9. Гладков Н.А. Биологические основы полёта птиц. М.: Моск. общ.исп. природы, 1949. 248 с.
- 10.Енохович А.С. Справочник по физике и технике. М.: Просвещение, 1983. 225 с.
- 11.Ильичев В.Д., Карташев Н.Н. и др. Общая орнитология: учебник. М.: Высшая школа, 1982. 464 с.
12. Ильченко В.Р. Перекрестки физики, химии и биологии: учебное пособие. М.: Просвещение, 1986. 174 с.
- 13.Казневский В.П. Аэродинамика в природе и технике. 3-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1985. 127 с.
- 14.КацЦ.Б. Биофизика на уроках физики: учебное пособие. М.: Просвещение, 1974. 128 с.
- 15.Ковтун М.Ф. Строение и эволюция органов локомоции рукокрылых. Киев: Наук.думка, 1984. 304 с.
- 16.Кокшайский Н.В. Закономерности линьки крыла и полет птиц. М.: Наука, 1964. 193 с.

17. Курочкин Е.Н., Богданович И.А. 2007. К проблеме происхождения птиц: новый подход // Современные проблемы биологической эволюции: научно-практическая конференция к 100-летию Государственного Дарвинского музея. Москва, 2007 г. С. 24–26.
18. Литинецкий А.Б. На путях бионики: учебное пособие. М.: Просвещение, 1981. 234 с.
19. Манзий С. Ф. Бионика для биологии и техники // Вестник зоологии. Москва, 1967. С. 15 - 17.
20. Мартынов А.К. Экспериментальная аэродинамика. М.: Оборонгиз, 1950. 497 с.
21. Наумов, Н.П., Карташев, Н.Н. Зоология позвоночных: учебник, в 2 ч. М.: Высшая школа, 1979. Ч.1. 333 с.
22. Наумов, Н.П., Карташев, Н.Н. Зоология позвоночных: учебник, в 2 ч. М.: Высшая школа, 1979. Ч.2. 272 с.
23. Потапов Д. В. Зоология позвоночных: пресмыкающиеся, птицы: практическое пособие. Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. Гомель, 2019. 56 с.
24. Рогачева Э. В. Птицы Средней Сибири. Распространение, численность, зоогеография. М.: Наука, 1988. 309 с.
25. Флинт В. Е. Птицы Европейской России. Полевой определитель. М.: Алгоритм, 2000. 128 с.
26. Формозов А. Н. Звери, птицы и их взаимосвязь со средой обитания. М.: Наука, 1976. 309 с.
27. Хадорн Э., Венер Р. Общая зоология: учебно-справочное пособие. М.: Мир, 1989. 528 с.
28. Цвелых А. Н. Форма вершины крыла птиц и ее оценка // Вестник зоологии. Москва, 1983. С. 25-34.
29. Шестакова Г.С. Строение крыльев и механика полета птиц. М.: Наука, 1971. 179 с.

30. Шмидт-Ниельсен, К. Физиология животных. Приспособление и среда: в 2 кн. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. К.1. 416 с.
31. Шмидт-Ниельсен, К. Физиология животных. Приспособление и среда: в 2 кн. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. К.2. 384 с.
32. Якоби В.Э. Механизация и автоматика крыла птиц. / Под.ред. Клейненберга С.Е.М.: Наука, 1965. 256 с.
33. Якоби В.Э. Морфо-экологические приспособления к скоростному полету у птиц. / Под.ред. Клейненберга С.Е.М.: Наука, 1966. 224 с.

ГЛАВА 1

Раздел 1.1

- 1) Г
- 2) Г
- 3) В
- 4) В
- 5) Б
- 6) *Ответ:* летучие драконы имеют летательную перепонку, образованную от передних конечностей и вдоль тела животного; летучие гекконы имеют маленькие складки кожи вокруг конечностей туловища, головы и хвоста; летучие змеи имеют свойство растягивать свое тело и раскрывать ребра при планировании.
- 7) *Ответ:* 1 преимущество – относительная безопасность, 2 – дополнительные возможности для движения (потоки воздуха); 3 – возможность перемещаться на дальние расстояния в короткие сроки.
- 8) *Ответ:* летучая ящерица ----- летательная перепонка, поддерживаемая ребрами; веслоногая лягушка ----- утолщение перепонки между фалангами пальцев; белка-летяга ---- складка кожи, образованная между задними и передними конечностями; примат рода сифаки ----- утолщенный мех на предплечье.
- 9) *Ответ:* 1) крылья; 2) воздушная локомоция
- 10) *Ответ:* многие животные тропических лесов обитают на деревьях, а так как в тропических лесах деревья высокие, то сформировалась необходимость животным, обитающим в пологах леса, передвигаться от дерева к дереву.

Раздел 1.2

- 1) Б

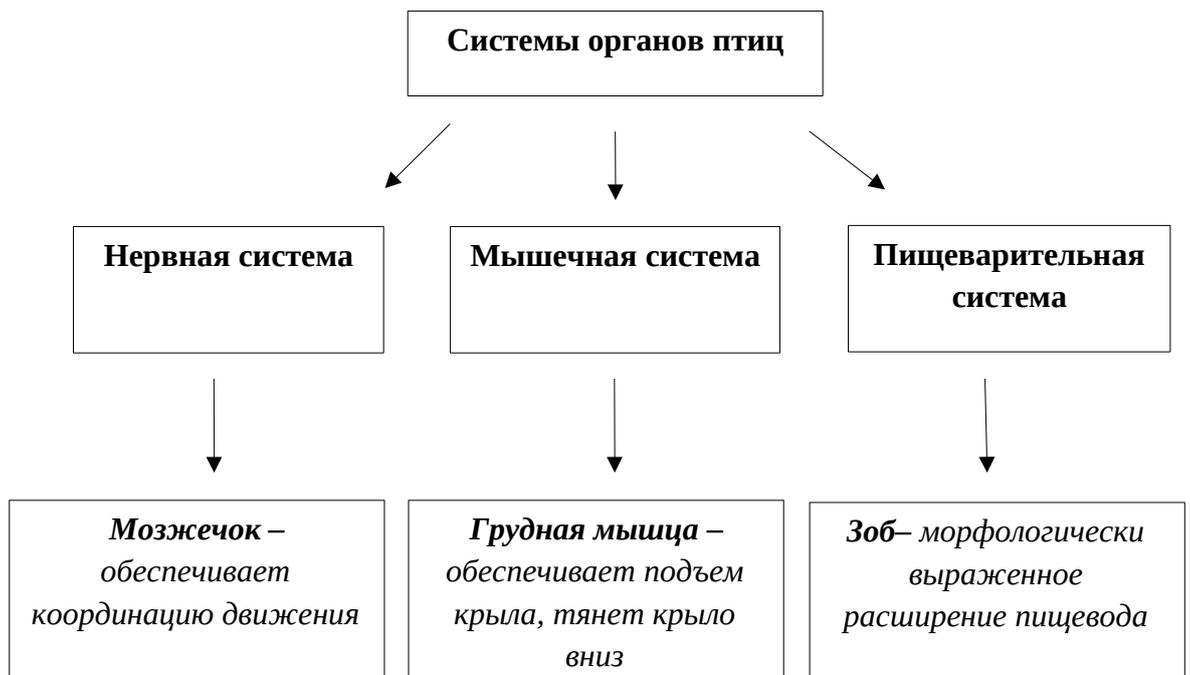
- 2) В
- 3) А
- 4) Б
- 5) Г
- 6) *Ответ:* вопрос происхождения полета у птиц на сегодняшний день является спорным, так как точно неизвестно само происхождение птиц, а останки предков практически не сохранились к настоящему времени.
- 7) *Ответ:* по данной гипотезе предками птиц являлись проависы, которые, бросались на свою добычу прыжком с возвышенностей или с засады, что в дальнейшем привело к планированию и активному полету.
- 8) *Ответ:* предположительно, крылья у кекликов сформировались при размахивании передними конечностями для увеличения скорости при беге.
- 9) 1 – древесная теория; 2 - гипотеза прыгающих атакующих проависов; 3 – динозавровая теория.
- 10) *Динозавровая теория* ----тероподы; *наземная гипотеза* ---- кеклики; *древесная гипотеза* ---- ящеры дромезавриды; *гипотеза прыгающих атакующих проависов*---- хищные предки птиц (проависы)

ГЛАВА 2

Раздел 2.1

- 1) Б
- 2) А
- 3) В
- 4) Б
- 5) В
- 6) *Ответ:* терморегуляция при полете птиц увеличивает теплоотдачу, что, в свою очередь, сохраняет постоянную температуру тела птицы.

- 7) *Ответ:* отсутствие зубов, формирование зоба, появление мускульного отдела желудка, отсутствие прямой кишки и формирование клоаки, редукция всей пищеварительной системы и общее уменьшение массы тела птицы.
- 8) *Ответ:* аптерии – это участки кожных покровов птиц, которые лишены контурных перьев.
- 9) Заполните схему

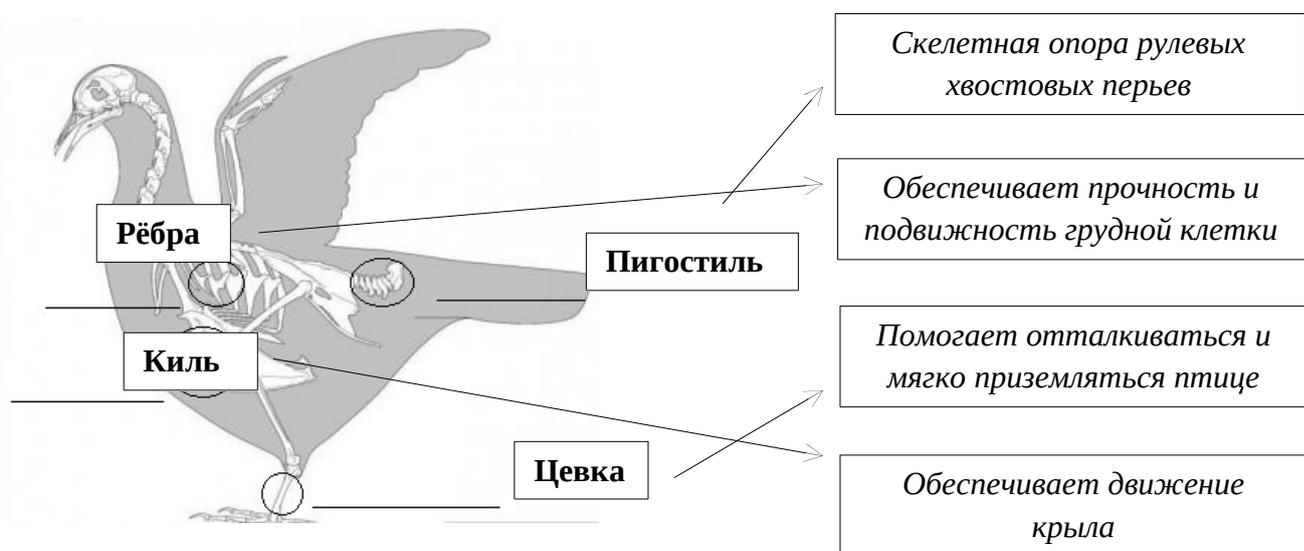


- 10) А – 2; Б – 3; В – 1; Г – 4

Раздел 2.2

- 1) Г
- 2) А
- 3) В
- 4) Б
- 5) В
- 6) *Ответ:* киль необходим для прикрепления мощной грудной мышцы, которая обеспечивает движение крыла при полете. У нелетающих птиц нет такой мышца, соответственно, отсутствует и киль.

- 7) *Ответ:* больше позвонков в шейном отделе у воробья – 14, у жирафа их 7.
- 8) *Ответ:* киль – служит местом прикрепления мышц, поднимающим/опускающим крыло; сложный крестец – обеспечивает жесткость спины, неподвижность ее при полете; вилочковая кость – выполняет роль амортизатора; цевка – смягчает приземление.
- 9) Назовите скелетные структуры, которые выделены в схеме. Соотнесите функции, предложенные в правом столбце, с теми структурами, которым они соответствуют.



- 10) *Соотнесите скелетную структуру и ее характеристику:*



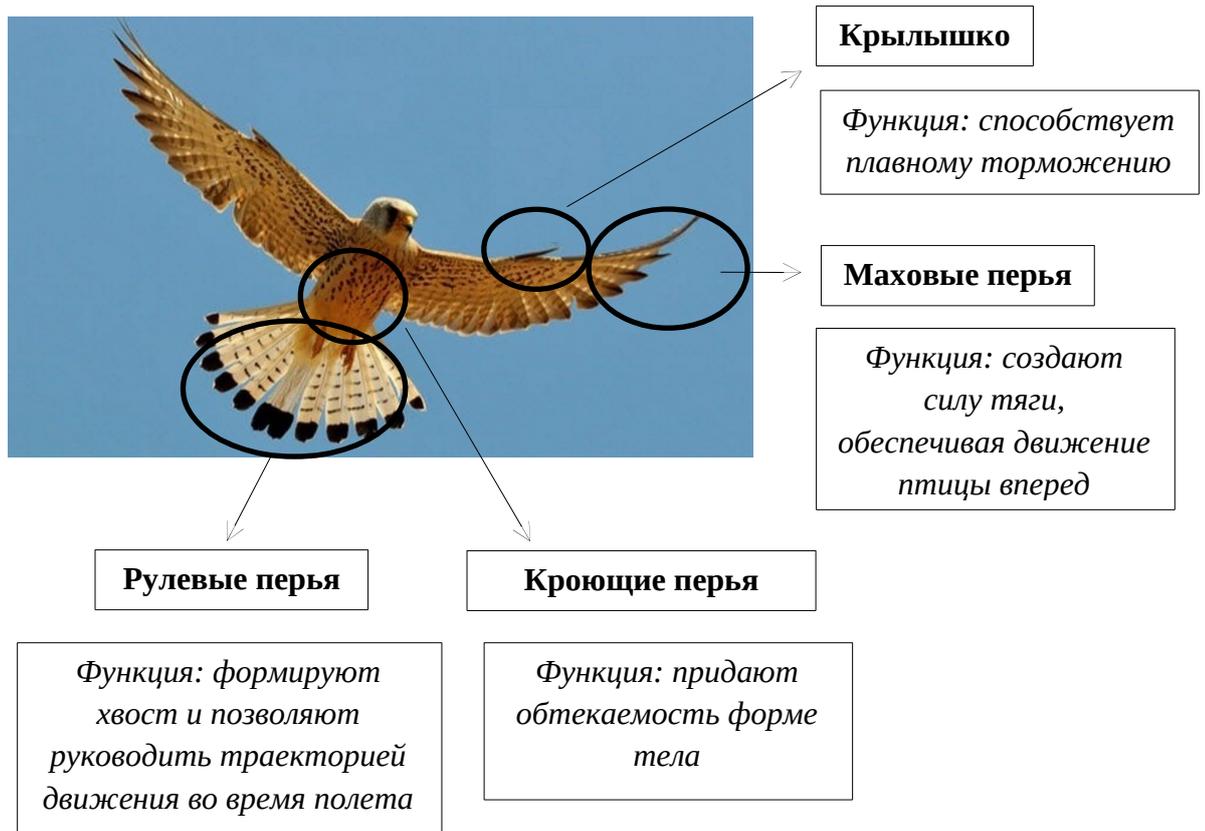
- 1) В
2) В

- 3) Б, В
- 4) Б
- 5) А
- 6) *Ответ:* формирование пястно-запястной кости – пряжки, к которой прикрепляются первостепенные маховые перья; редукция редукция IV и V пальцев; первый (I) фаланг пальца является основой крылышка, которое выполняет роль тормоза; неподвижность пястных костей.
- 7) *Ответ:* локтевая кость развита сильнее, так как потому что к ней прикрепляются второстепенные маховые перья.
- 8) *Пряжка*---- прикрепление первостепенных маховых перьев, *плечевая кость* ---- обеспечение длительного пассивного полета (планирование), *локтевая кость*---- прикрепление второстепенных маховых перьев, *летательная перепонка*---- создание обтекаемости формы тела за счет сглаживания стыков перьев туловища и крыла.
- 9) Г, Б, А, В, Д.
- 10) *Ответ:* Изгиб крыла будет круче у глухаря, так как это лесная птица, которой приходится часто маневрировать среди деревьев, создавая большую подъемную силу. Чем круче изгиб – тем выше подъемная птица. Коростель степная птица, которая, как правило, использует планирование.

Раздел 2.4

- 1) Г
- 2) А
- 3) В
- 4) Б
- 5) Б
- 6) 1, 2, 5
- 7) Бородочки скрепляются между собой с помощью *крючков* и образуют прочное и упругое *опахало*.

- 8) *Ответ:* на законцовке крылышка формируется вихрь, прижимающий поток воздуха к поверхности крыла, позволяя крылу достигать большего угла атаки и увеличивать подъемную силу, предотвращая потерю скорости.
- 9) 1 - опахало; 2 – пух; 3 – сила тяги; 4 – стержень; 5 – крылышко
- 10) *Обозначьте на картинке следующие элементы: рулевые перья, маховые перья, крылышко, кроющие перья(обведите элемент в кружок, подпишите название)*



Раздел 2.5

- 1) А
- 2) В
- 3) Б
- 4) В
- 5) А

6) *Ответ:* рельеф крыла образуется благодаря ряду структур: бородкам и бородочкам, которые могут образовывать ворсинки и реснички. Чем больше данных структур – тем менее гладкая поверхность. На верхней стороне крыла ресничек и ворсинок меньше, на нижней – больше. Это и создает разность рельефов.

7) *Ответ:* крайнее маховое перо расположено на полностью развернутом крыле приблизительно перпендикулярно к встречным потокам воздуха, поэтому его опахало имеет более крепкое строение.

8) *Заполните схему:*



9) 1) удлинение крыла; 2) нагрузка на крыло

10) *Сокол-сапсан* --- крылья для скоростного полета; *сероголовый альбатрос* ---- крылья с большим удлинением; *степной орёл* ---- крылья для парящего полета; *ястреб-тетеревятник* ---- эллиптические крылья.

ГЛАВА 3

Раздел 3.1

- 1) В
- 2) А
- 3) В
- 4) Г

5) В

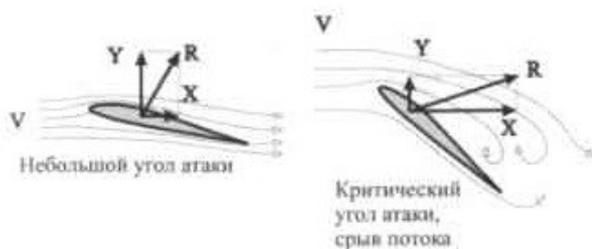
6) *Ответ:* разность давления происходит из-за разности скорости обтекания воздуха под крылом и над крылом. Воздух по гладкой верхней поверхности достигает оконечности крыла быстрее, чем воздух под крылом, тем самым, по уравнению Бернулли, создает более низкое давление, чем под крылом.

7) *Ответ:* угол атаки влияет на подъемную силу крыла: чем меньше угол атаки, тем меньше подъемная сила.

8) *Ответ:* крыло под цифрой 1 будет развивать большую подъемную силу, так как имеет более крутой изгиб профиля, нежели крыло под цифрой 2. Чем круче изгиб, тем больше подъемная сила.

9) 1) Лобовое сопротивление; 2) критические углы атаки; 3) сила гравитации

10)



ГЛАВА 3

Раздел 3.2

1) Г

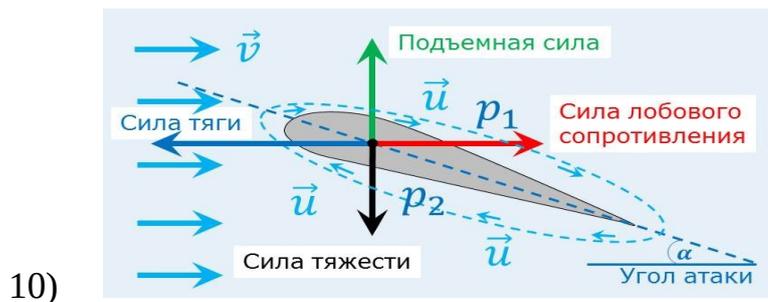
2) Б

3) Б

4) Б

5) А

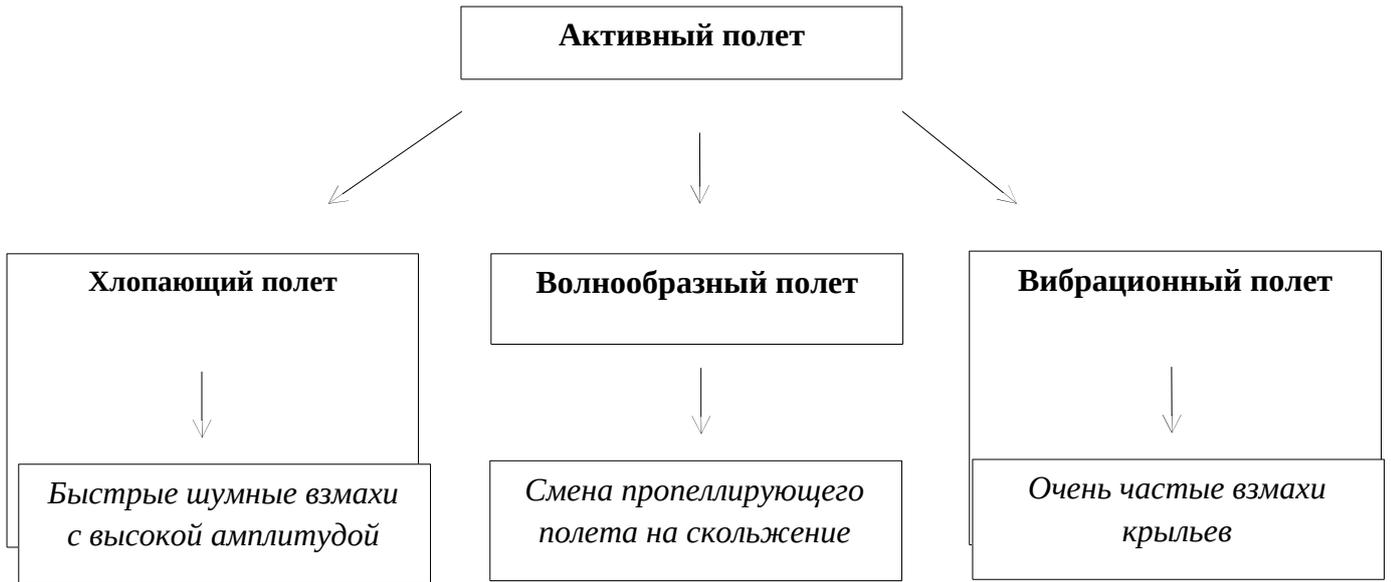
- 6) *Ответ:* при взмахе вниз происходит перекручивание маховых перьев для того, чтобы они плотно были сомкнуты друг с другом, и эта структура могла оттолкнуться от воздуха, формируя силу тяги.
- 7) *Ответ:* центр приложения сил находится параллельно силе тяжести для того, чтобы птицы в воздухе могла проседать и не переворачиваться.
- 8) 1) сила тяги; 2) пронация; 3) супинация
- 9) Г, Б, А, В



Раздел 3.3

- 1) Г
- 2) В
- 3) Б
- 4) В
- 5) В
- 6) *Ответ:* статическое парение обусловлено действием восходящих потоков воздуха, а динамическое парение основано на использовании в качестве энергии разности в скоростях и направлениях отдельных слоев более или менее горизонтальных воздушных течений.
- 7) *Ответ:* крылышко регулирует скольжение потоков воздуха по крылу и препятствует срыву воздушных потоков, которые привели бы к падению птицы. Поэтому крылышко имеет сильное развитие у лесных птиц, которым приходится часто взлетать и осуществлять посадку.

8) Заполните схему:



9) *Ответ:* показатели, определяющие вид активного полета: различия в размерах и форме тела, размерах и форме крыльев и хвоста, в интенсивности и амплитуде взмахов крыла.

10) *Черный коршун* ---- парение; *колибри-пчёлка* ---- вибрационный полет; *кряква* ---- пропеллирующий полет.