

Московская школа на Юго-Западе № 1543

**Фауна стрекоз (Insecta: Odonata) окрестностей поселка Борок
Ярославской области и анализ изменчивости формы глаз
семейств Libellulidae и Corduliidae**

Выполнили учащиеся 9 «Б» класса:

Юлия Сергеевна Вереникина

Игорь Олегович Владимиров

Фарангис Фарходжоновна Рахимова

Научные руководители:

Владислав Андреевич Начатой

Пётр Николаевич Петров

Москва

2022

Оглавление

Введение	3
Кто такие стрекозы?.....	3
Фауна стрекоз Ярославской области.....	6
Отличия семейств Libellulidae и Corduliidae (Odonata: Anisoptera)	7
Цели нашей работы.	7
Задачи	7
Материалы и методы	8
Сбор стрекоз	8
Измерения стрекоз	10
Анализ формы всего глаза при помощи метода главных компонент	10
Анализ формы участка глаза, содержащего бугорок, при помощи метода главных компонент....	11
Измерение длины бугорка.....	12
Результаты	13
Обсуждение	19
Выводы	21
Благодарности	22
Литература	22
Приложение (Список стрекоз Ярославской области по данным собранных нами стрекоз, данным определителя Скворцова, сайта www.inaturalist.org).....	25

Введение

Кто такие стрекозы?

Отряд стрекозы (Odonata) — это летающие насекомые с неполным превращением, появившиеся около 300 миллионов лет назад. Этот отряд насчитывает более 6500 видов и 600 родов.

По типу питания они хищники. Питаются насекомыми, пойманными на лету, причем среди крупных особей довольно часто наблюдается каннибализм. Тело стрекоз состоит из головы, груди и брюшка. Они дышат с помощью дыхалец, расположенных на груди, всего их восемь. У них крупная голова, которая всегда шире всех прочих отделов тела, а также подвижная шея, способная поворачиваться вдоль продольной оси тела. Помимо сложных глаз у них есть три простых глазка, расположенных между фасеточными глазами или перед ними. У равнокрылых стрекоз (Zygoptera) глаза находятся по бокам головы, в связи с чем она имеет поперечно вытянутую форму, а у разнокрылых стрекоз (Anisoptera) глаза смещены ко лбу. У них стройное удлинённое обтекаемое тело, которое разделяется на грудь и брюшко. Брюшко состоит из десяти сегментов, сильно вытянуто, в сечении имеет округлую форму, однако из этого немало исключений: у многих оно плоское и широкое. Грудь состоит из переднегруди, среднегруди и заднегруди. Каждый сегмент груди несёт одну пару конечностей, а срденегрудь и заднегрудь ещё и по паре крыльев (Дьяконов, 1926; Tillyard, 1917; Скворцов, 2010).

Конечности состоят из пяти основных частей: тазика, вертлуга, бедра, голени и лапки. У самцов на вершине брюшка имеются «щипцы», с помощью которых они удерживают самку при спаривании (рис. 1). Наружное половое отверстие самок располагается на заднем конце брюшка, обычно оно прикрыто выступом или отростком стернита.

Отряд Odonata делится на два подотряда: разнокрылые (Anisoptera) и равнокрылые (Zygoptera). Отличительной особенностью этих подотрядов является форма крыльев (Дьяконов, 1926). У разнокрылых стрекоз передняя и задняя пара крыльев отличаются друг от друга по форме (заднее более широкое), а у равнокрылых они одинаковые (рис. 2) (Скворцов, 2010; Дьяконов, 1926).

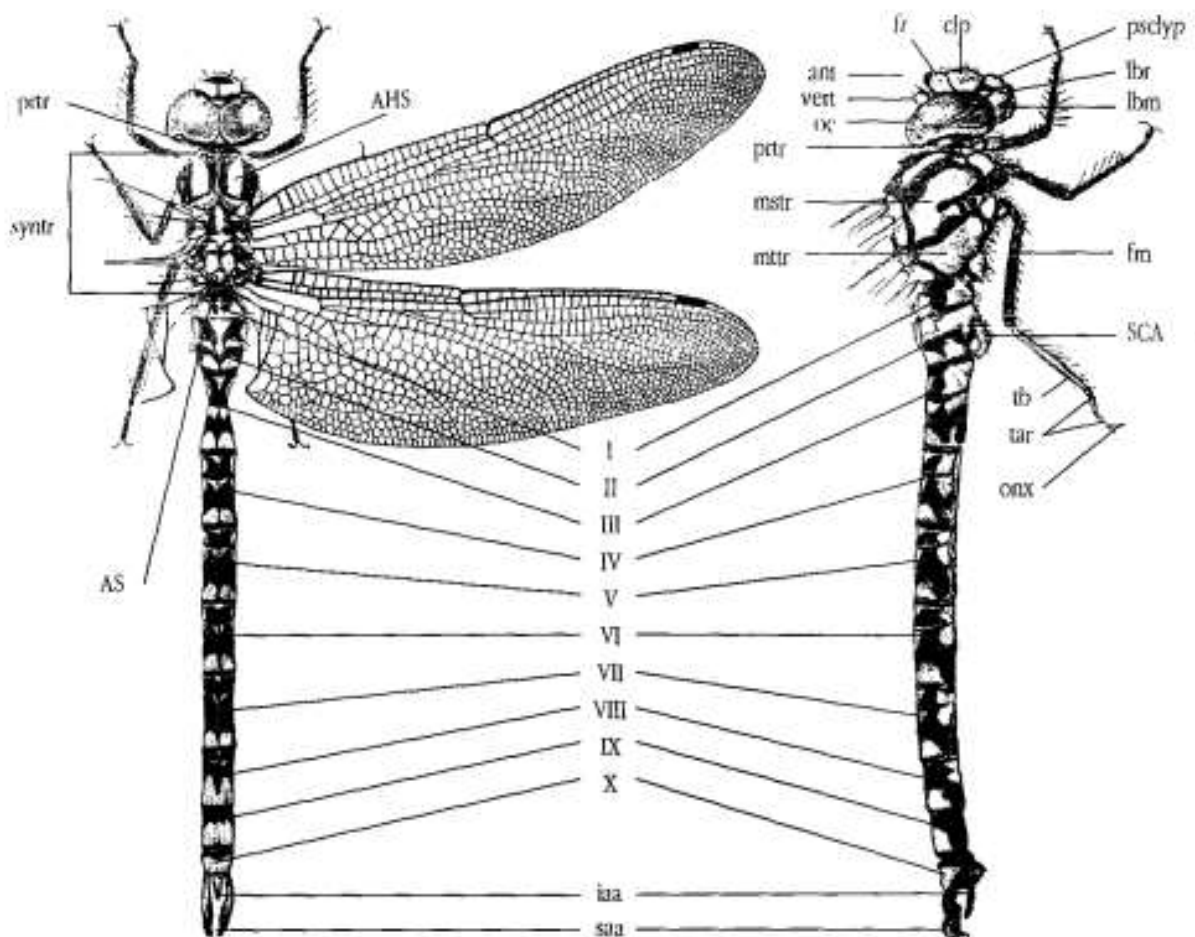


Рис 1. Строение имаго стрекозы. AHS — доплечевая полоса; ant — усик; AS — крыловой синус; clp — наличник; сох — тазик; fm — лоб; iaa — нижний анальный придаток; lbm — нижняя губа; lbr — верхняя губа; LS — латеральный шип; mstr — среднегрудь; mtr — заднегрудь; осс — глазок; ос — сложный глаз; осп — затылок; onx — коготок; prtr — переднегрудь; psclp — заналичник; saa — верхний анальный придаток; SCA — вторичный копулятивный аппарат; syntr — грудь; tar — лапка; tb — голень; troch — вертлуг; vrt — темя; I–X — сегменты брюшка (Dijkstra, Lewington, 2006).



Рис. 2. Имаго стрекоз: слева — *Libellula quadrimaculata* (Anisoptera, или разнокрылые), справа — *Enallagma cyathigerum* (Zygoptera, или равнокрылые).

У стрекоз неполное превращение, их личинок часто называют нимфами: они обитают в воде, дышат трахеями и обладают характерным ротовым аппаратом. Она состоит из непарной верхней губы, парных верхних челюстей и непарной нижней губы, преобразованной в аппарат для ловли добычи — маску (рис. 3). Трахеальная система вторично закрыта и не используется, в качестве органов дыхания у равнокрылых стрекоз жаберные лепестки (анальные отростки) на конце брюшка, а у разнокрылых дыхание происходит через заднюю кишку. Сложные глаза у них присутствуют с рождения, а простые отсутствуют большую часть жизни личинки (Попова, 1953).

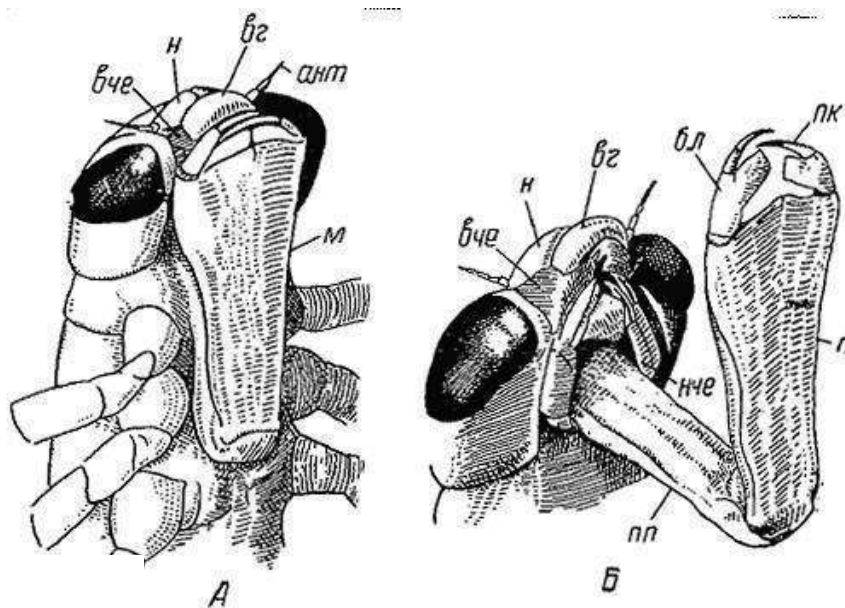


Рис 3. А — голова и грудь личинки; Б — голова личинки с выброшенной наполовину маской. Ант — антенны; бл — боковая лопасть маски; вг — верхняя губа; вче — верхняя челюсть; м — маска; н — налечник; нче — нижняя челюсть; п — подбородок; пк — подвижной крючок; пп — подподбородок (Попова, 1953).

Фауна стрекоз Ярославской области

Мы составили актуальный список фауны стрекоз Ярославской области по данным собранных нами стрекоз, определителя Скворцова (2010) и по данным с сайта www.inaturalist.org (см. Приложение 1). В Красную книгу Ярославской области включён один единственный вид: дозорщик-император (*Anax imperator* Leach, 1815) (рис. 4).



Рис 4. Дозорщик-император (*Anax imperator*) (Dijkstra, 2006).

Отличия семейств Libellulidae и Corduliidae (Odonata: Anisoptera)

Наша работа посвящена изучению отличий семейств Libellulidae и Corduliidae. Если верить большинству определителей, отличительная особенность семейства Corduliidae заключается в наличии характерного выступа около середины внешнего края глаз, при этом у семейства Libellulidae его нет (рис. 5). Однако, как показывает наша практика, далеко не всегда удается точно установить семейство той или иной стрекозы из-за наличия промежуточных форм как в одном, так и в другом семействе. Если судить по литературным данным (Скворцов, 2010), не всех стрекоз этих двух семейств можно классифицировать по наличию выступа: например, у *Selysiothemis nigra* (сем. Libellulidae) все-таки присутствует не характерный для его семейства малозаметный выступ. Пусть это и не такой часто встречающийся вид, промежуточные формы можно заметить и у вполне типичных для Европейской части России видов, например, некоторые образцы *Libellula quadrimaculata* (сем. Libellulidae) по наличию выступа не так просто отличить от другого довольно распространенного вида — *Cordulia aenea* (сем. Corduliidae).



Рис 5. Слева — левый глаз стрекозы *Cordulia aenea* (сем. Corduliidae), справа — левый глаз стрекозы *Libellula quadrimaculata* (сем. Libellulidae).

Цели нашей работы: Изучить фауну стрекоз Ярославской области и уточнить отличительные признаки стрекоз семейств Corduliidae и Libellulidae.

Задачи:

1. Составить список по данным собранных нами стрекоз, определителю Скворцова (2010) и данным с сайта www.inaturalist.org и сравнить наши данные с данными Скворцова (2010) и www.inaturalist.org на наличие новых видов для Ярославской области.

2. Выявить различия между выемками, соотношением длины глаза к его ширине, а также наличием и отсутствием выступа у семейств Corduliidae и Libellulidae.

Материалы и методы

Сбор стрекоз

Мы собирали стрекоз в окрестностях стационара «Сунога» (рис. 6, 7) (на два километра южнее поселка Борок) Некоузского района Ярославской области в период с 8 июня по 5 июля 2022 года. В их сборе принимали участие ученики и сотрудники Московской Школы на Юго-Западе № 1543.



Рис 7. Прудики близ «Суноги», около которых мы собирали стрекоз. Изображение с сайта earth.google.com, с изменениями.

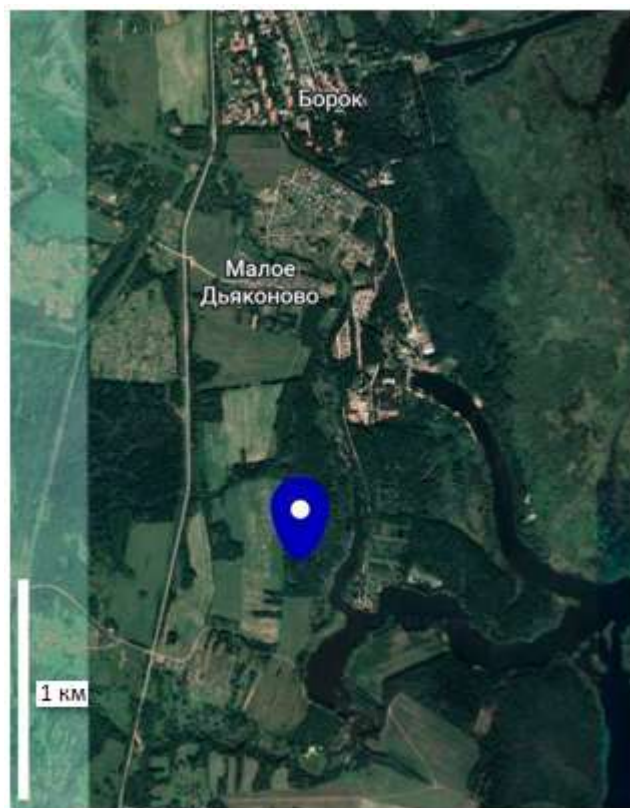


Рис 6. Стационар «Сунога» на карте Ярославской области. Изображение с сайта earth.google.com, с изменениями.

Отлавливая имаго стрекоз, мы использовали энтомологические сачки для прицельного лова. Пойманных стрекоз помещали в морилки (герметично закрывающиеся пластмассовые и стеклянные баночки объемом 100 мл с небольшим кубиком пенополиэтилена, пропитанным этилацетатом). После этого либо накалывали замороженных стрекоз на энтомологические булавки и помещали в коробки, либо раскладывали их на ватные матрасики, не накалывая (рис. 8). Видовую принадлежность определяли по «Стрекозам Восточной Европы и Кавказа: Атлас-определитель» (Скворцов, 2010), также используя материалы книги «Стрекозы России: Атлас-определитель» (Онишко, Костерин, 2021). Всего мы собрали 174 имаго.



Рис. 8. Ватный матрасик с двумя стрекозами *Cordulia aenea* (левая верхняя и левая нижняя) и одной *Libellula quadrimaculata*, пойманными на территории стационара «Сунога».

Матрасики для собранных стрекоз делали следующим образом: на прямоугольник из плотной бумаги тонким слоем выкладывали вату, на нее собранных стрекоз, а сверху такой же прямоугольник из бумаги с указанием места и даты сбора, видовой принадлежности стрекоз, лежащих внутри, инициалов и фамилий собравших и определивших. Полученную конструкцию убирали в бумажный конвертик и в таком виде хранили.

Личинок ловили водным сачком и помещали в 96% этиловый спирт. Видовую принадлежность определяли по Харитонову (1997). Всего мы собрали четыре личинки и два экзувия. С учетом имаго, личинок и экзувиев — 180 стрекоз.

Измерения стрекоз

При помощи бинокля с окуляр-микрометром мы измерили глаза стрекоз с точностью до 0,1 мм по следующим параметрам: высота и ширина глаза, а также глубина выемки (рис. 9). Глубиной выемки мы называли высоту, опущенную от прямой, соединяющей две ближайших к переднему краю глаза точки заднего края глаза, на сторону глаза. По умолчанию мы измеряли левый глаз каждой стрекозы, но, если он был деформирован, и измерения нельзя было провести корректно, мы измеряли правый. После мы фотографировали измеренные глаза с ракурса, аналогичного тому, в котором измеряли. Всего у нас измерена и сфотографирована 158 стрекоз. Недостающих стрекоз мы брали из архива Московской Школы на Юго-Западе № 1543, они были собраны на территории Нижне-Свирского государственного природного заповедника преимущественно В. Начатым, П. Хорхординой, П. Труновой, А. Лоциловой и М. Тищенко.

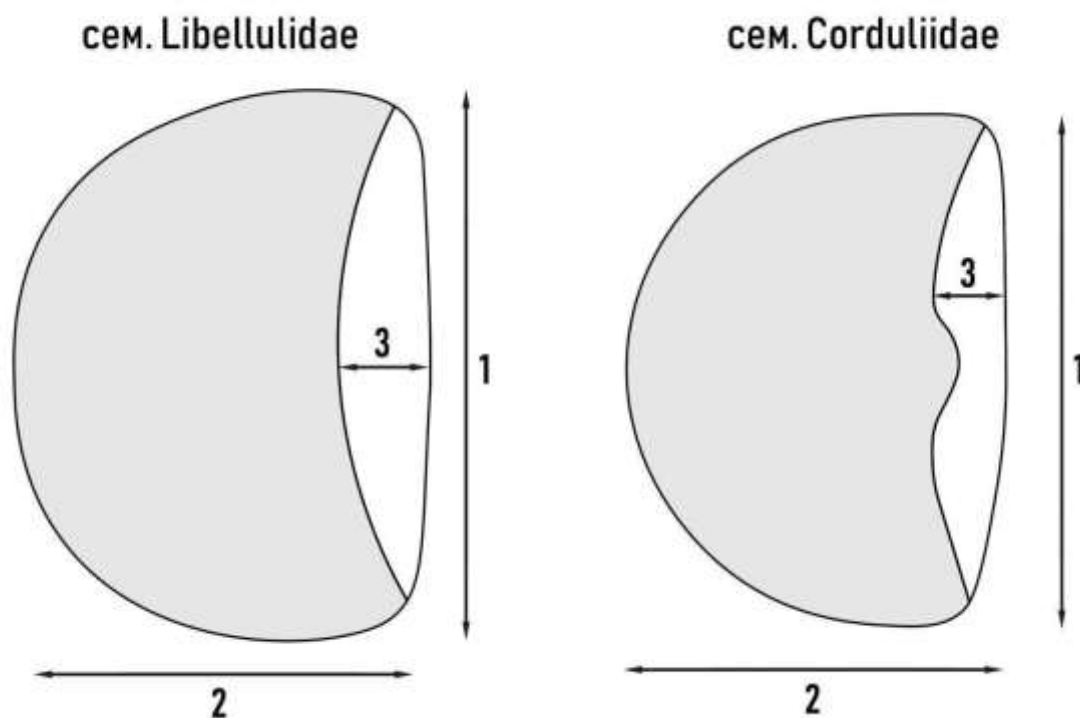


Рис. 9. Схематичное изображение глаз стрекоз семейств Corduliidae (справа) и Libellulidae (слева). 1 — высота глаза; 2 — длина глаза; 3 — глубина выемки глаза.

Анализ формы всего глаза при помощи метода главных компонент

Уже в Москве в программе Adobe Photoshop CS6 x64 делали черные контуры сфотографированных глаз на белом фоне и переносили эти контуры в программу tpsDig (Rohlf, 2001). Там, начиная от самой высокой точки глаза, ставили 50 равноудаленных точек по всему имеющемуся контуру глаза, для каждой из которых записывались координаты. С помощью tpsDig мы записывали координаты в отдельный файл и переносили в текстовый редактор и обрабатывали следующим образом: вырезали строки Outlines, Points, в строке LM

меняли число 0 на 50, в ID вставляли номер конкретного образца, в котором был указан его вид (так как без этого была невозможна дальнейшая обработка). Далее при помощи программы tpsRelw создавали усредненную конфигурацию глаза для каждого семейства (переводили координаты из системы отсчета относительно координатных осей в систему отсчета друг относительно друга). Затем для каждой стрекозы создавали персональный контур, на котором будут видны отклонения от усредненного контура. Файлы со всеми этими координатами были созданы в программе tpsUtil (Rohlf, 2004).

На выходе из программы tpsRelw (Rohlf, 2007) мы получали файл с координатами 50 точек для каждого из измеренных глаз в многомерном пространстве и при помощи метода главных компонент (Principal Component Analysis, или PCA) проецировали радиус-векторы этого пространства (каждый из которых вел к конкретной точке в контуре глаза) на две основные оси. В случае, если глаза отличаются по форме, на итоговой диаграмме мы должны наблюдать отдельные области скопления точек.

Анализ формы участка глаза, содержащего бугорок, при помощи метода главных компонент

Однако, напрямую из диаграмм следует, что отличий между семействами нет. А так как диаграммы строились для нахождения различий конкретно исходя из строения бугорка, стоит сказать о том, что различий нет именно в строении бугорка. Происходит это из-за того, что при проекции многомерного пространства на две оси при помощи PCA неизбежно возникает погрешность (также любой метод анализа, в том числе PCA, подразумевает некоторую погрешность, которая могла с соответствующей вероятностью отразиться на результатах).

Поэтому чтобы избежать этой погрешности в итоговых результатах, было решено использовать еще один метод анализа данных. Из длины окружности каждого глаза мы рассматривали только четверть таким образом, чтобы в середине этой четверти располагался бугорок. В программе Adobe Illustrator (v. 26.0.2) мы расставляли по контуру взятой четверти глаза около 20 точек, потом соединяли их линией, немного корректируя ее вручную так, чтобы она максимально точно соответствовала контуру глаза стрекозы. Далее мы загружали линейный контур в программу tpsDig, однако она позволяет строить только кольцевые контуры, в результате чего она ставила на нашем линейном 200 равноудаленных точек: 100 с одной стороны контура и 100 с другой, тем самым «проходя» по нему с двух сторон. В итоге мы получали кольцевой контур, который сходился в линейный. После полученный файл с координатами редактировали аналогичным прошлomu методу образом, вдобавок удаляя вторую половину точек, получая линейный контур, и в строку LM, соответственно, вставляли число 100, так как итоговое количество точек на контуре было именно таким. Далее в программе tpsRelw мы

строили усредненные контуры для каждого семейства и визуализировали на них отличия от среднего для каждой конкретной особи.

Также была построена еще одна диаграмма PCA, для которой мы постарались исключить несколько возможных и при этом наиболее вероятных причин погрешности.

В итоге наше предположение о влиянии погрешности на результат действительно подтвердилось. Оказалось, что выборки отличаются, имея довольно сильное пересечение.

Измерение длины бугорка

Чтобы наверняка убедиться в корректности результатов, использовался третий метод. При помощи программы ImageJ на сделанных ранее контурах четвертей глаза мы измеряли длину бугорка у тех стрекоз, у которых он так или иначе имеется, следующим образом: находили самую проксимальную точку бугорка и из нее под углом 0° проводили прямую до точки, лежащей на продолжении основной части выемки. Программа ImageJ показывала длину полученного отрезка в пикселях — она и заносилась в итоговую таблицу с измерениями (рис. 10). Если бугорок полностью отсутствовал, в таблицу заносили 0.

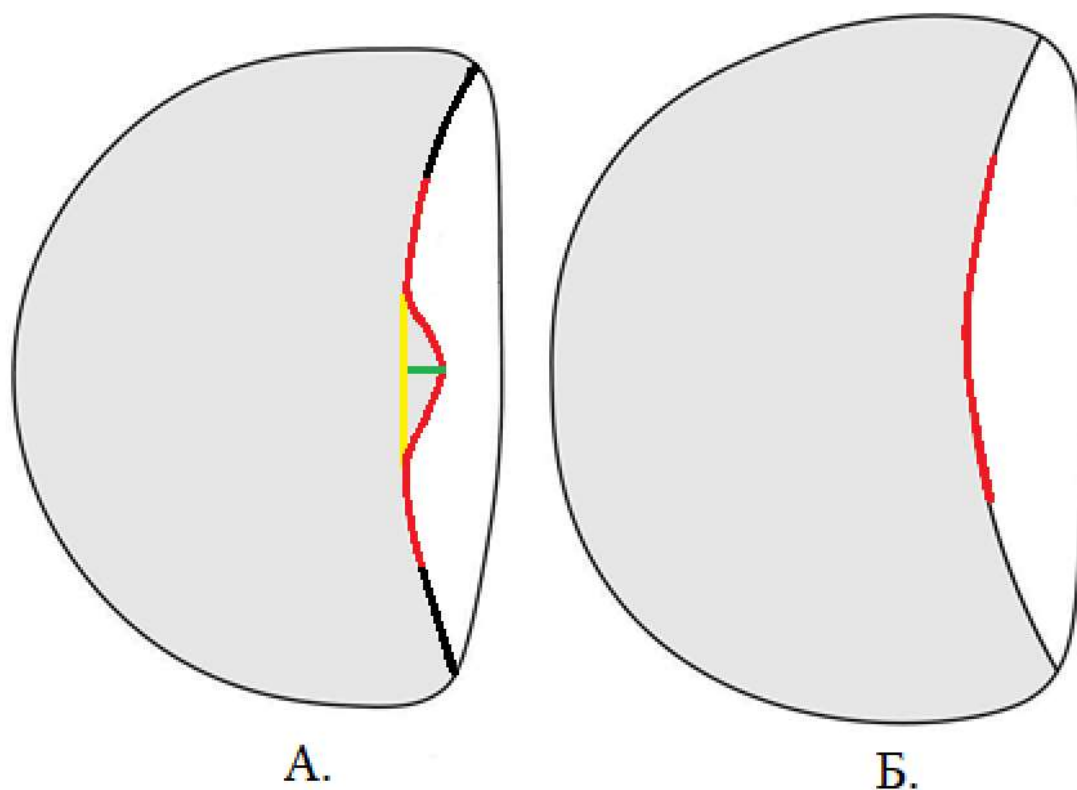


Рис. 10. Схемы глаз стрекоз. Красный цвет — четвертинки, с которыми мы работали; зелёный — прямая до точки, лежащей на продолжении основной части выемки; жёлтый — отрезок, соединяющий наиболее выступающие части бугорков. На схеме А (а именно на части, выделенной красным, т. е. на четвертинке) можно увидеть чёткий бугорок, следовательно, мы проводили прямую, а программа считала число пикселей на этой прямой. На схеме Б (на части,

выделенной красным, т.е. на четвертинке) бугорка нет, следовательно, в таблицу вносили число 0.

Анализ и обработку полученных контуров и измерений мы проводили в среде для статистических вычислений R (R Core Team, 2020) и ее расширенной версии RStudio с использованием пакета программ ggplot2 3.3.5 (Wickham, 2016).

Результаты

Мы поймали и отметили 17 видов стрекоз, которые относятся к семи семействам, из них шесть видов относятся к семейству Libellulidae, и один вид к семейству Corduliidae, глаза которых мы изучаем. Из всех этих 17 видов, два вида, нами отмеченных, не встречались ранее в списке стрекоз Ярославской области по данным определителя Скворцова и сайта www.inaturalist.org. Всего в окрестностях стационара «Сунога» Некоузского района Ярославской области мы собрали и определили 168 имаго, четыре личинки и два экзuvia стрекоз.

Мы составили актуальный список фауны стрекоз Ярославской области по данным собранных нами стрекоз, определителя Скворцова (2010) и по данным с сайта www.inaturalist.org (см. приложение 1). В этих источниках не были зафиксированы виды *Aeshna viridis* Fabricius, 1775 и *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840).

Ниже представлен график зависимости ширины глаза от высоты для видов *Cordulia aenea*, *Sympetrum danae*, *Libellula depressa*, *Leucorrhinia dubia*, *Libellula flavomaculata*, *Libellula quadrimaculata*, *Somatochlora metallica*, *Sympetrum sanguineum*. На нем также отмечены линии тренда для семейств Libellulidae (длинная линия) и Corduliidae (короткая линия), формы точек соответствуют принадлежности вида к семейству, цвета соответствуют принадлежности особи к виду. Коэффициент корреляции Спирмена равен 0.53. Коэффициент корреляции Пирсона равен 0.58.

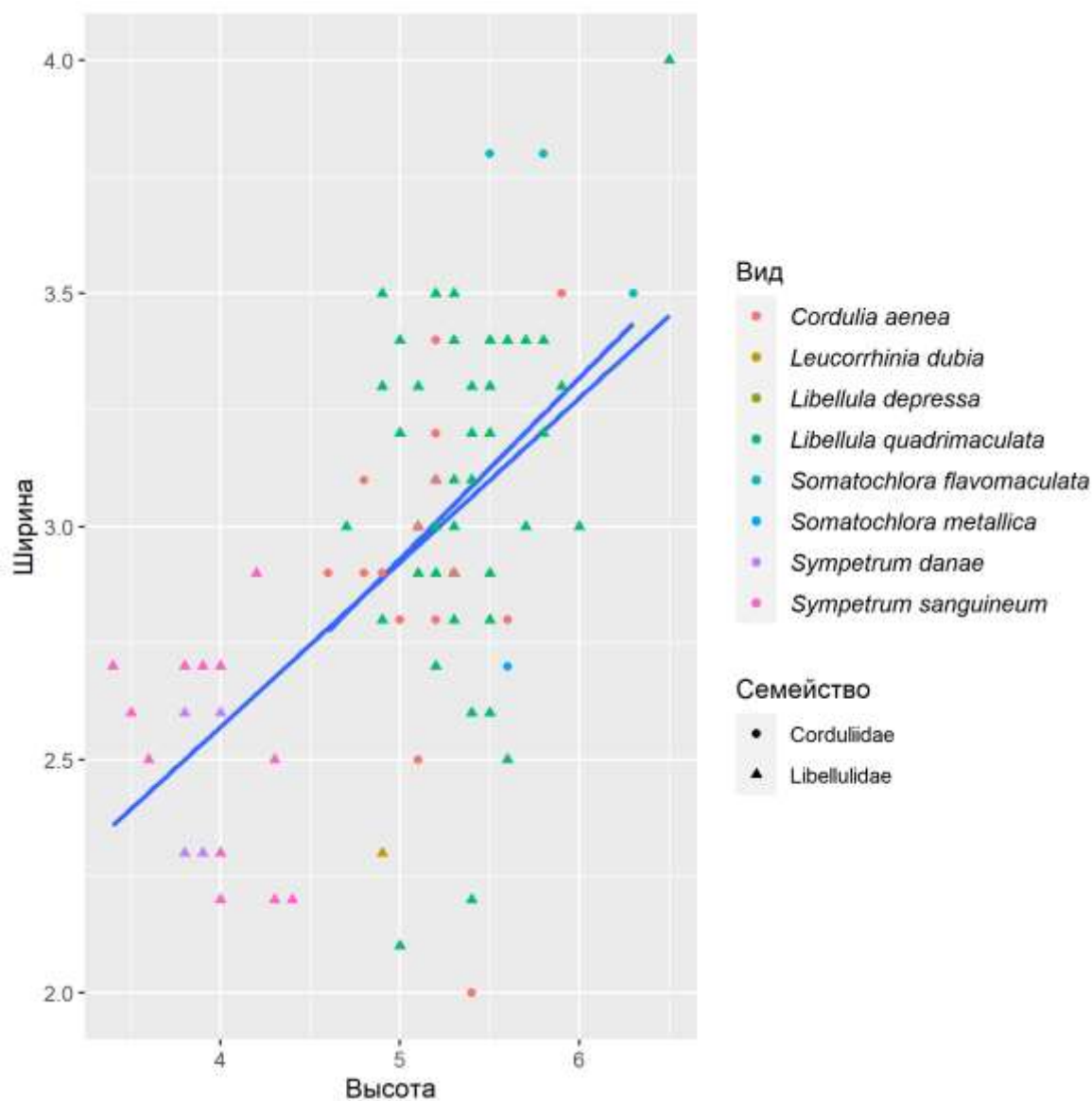


Рис. 11. Ширина и высота глаз стрекоз семейств Corduliidae и Libellulidae (в мм).

Ниже представлена диаграмма (рис. 12), на которой изображены три ящика с усами для семейств Corduliidae и Libellulidae, отражающие глубину выемки глаза. Никаких значимых отличий по этому критерию между семействами выявлено не было (тест Вилкоксона, или критерий Манна — Уитни, $p = 0.34$).

Жирная линия в центре ящика — медиана глубины выемки глаз. Нижняя граница соответствует 25-й перцентили, верхняя — 75-й перцентили (отмечены только для Corduliidae), а «усам» соответствуют крайние значения на графике (рис. 12).

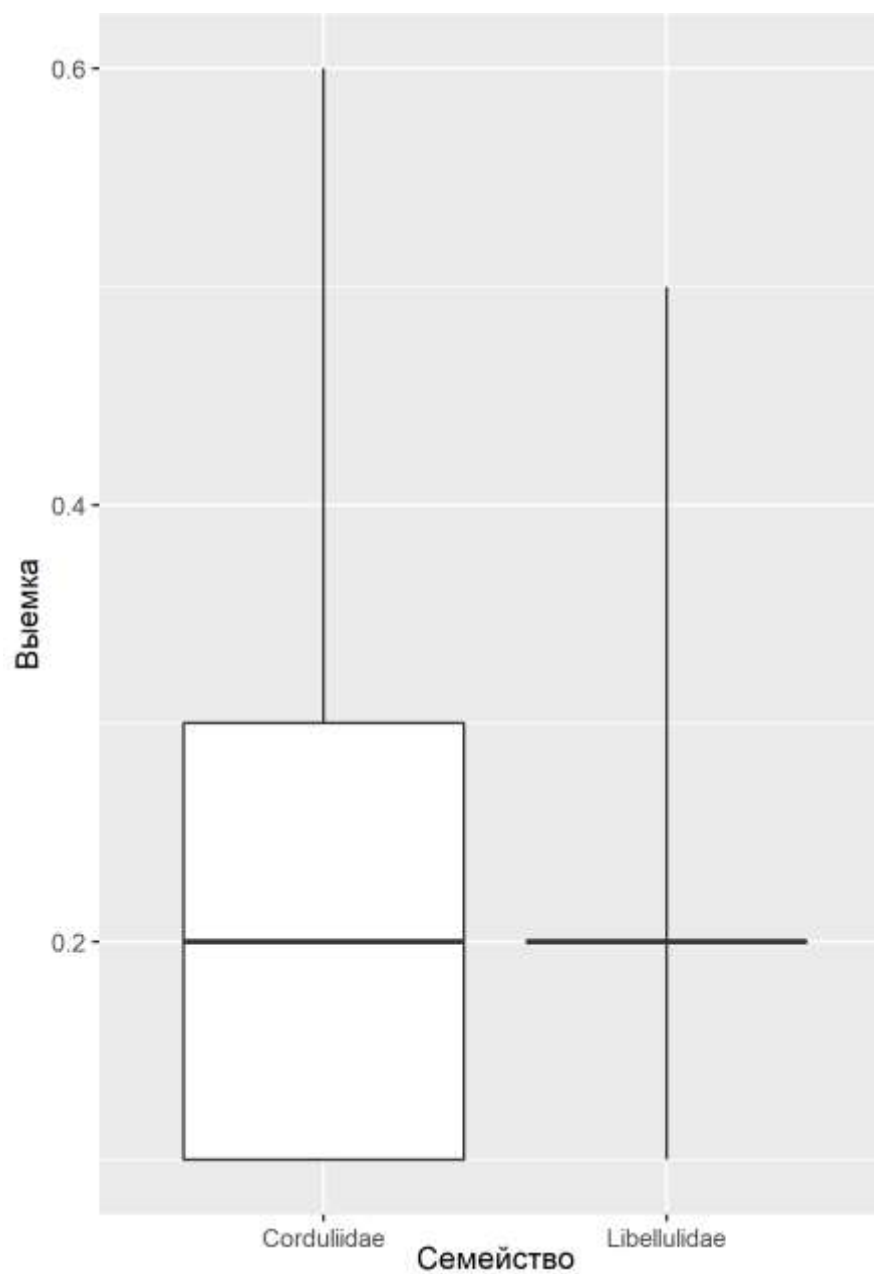


Рис. 12. Глубина выемки глаз стрекоз семейств Corduliidae и Corduliidae и Libellulidae.

Также мы провели PCA для полных контуров глаз всех измеренных особей и, исходя из результирующей диаграммы, можно сделать вывод о том, что никаких значимых отличий в общей форме нет (рис. 13).

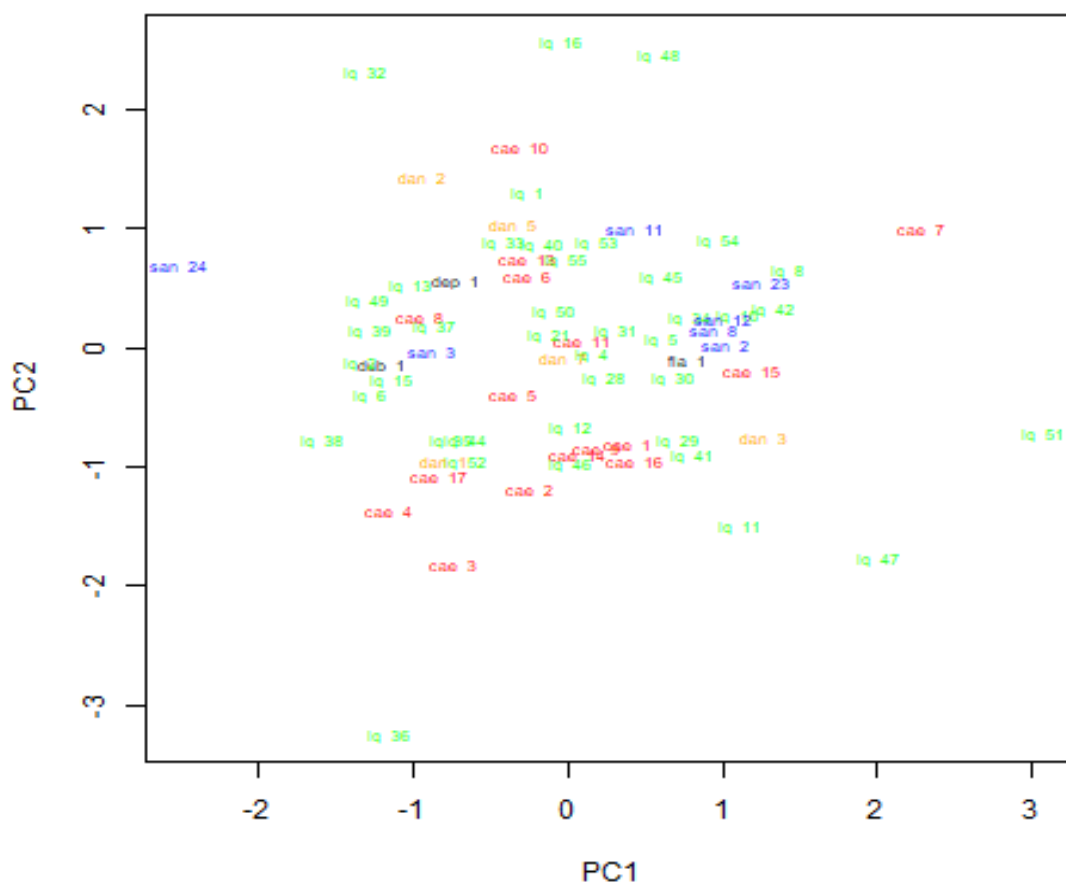


Рис. 13. Анализ главных компонент контуров глаз стрекоз семейств Libellulidae и Corduliidae. Для создания анализа было использовано 70 особей, которые относятся к следующим видам: *Leucorrhinia dubia* (сем. Libellulidae), *Sympetrum sanguineum* (сем. Libellulidae), *Somatochlora flavomaculata* (сем. Corduliidae), *Libellula depressa* (сем. Libellulidae) обозначены синим цветом, *Libellula quadrimaculata* (сем. Libellulidae) — зеленым цветом, *Sympetrum danae* (сем. Libellulidae) — желтым цветом, *Cordulia aenea* (сем. Corduliidae) — красным цветом.

Ниже представлены усредненные контуры глаз для двух семейств вместе и для каждого семейства по-отдельности, полученные при помощи программы tpsRelw (рис. 14). Зелеными радиус-векторами показаны отклонения соответствующей точки в контуре глаза каждой отдельно взятой стрекозы от среднего контура.

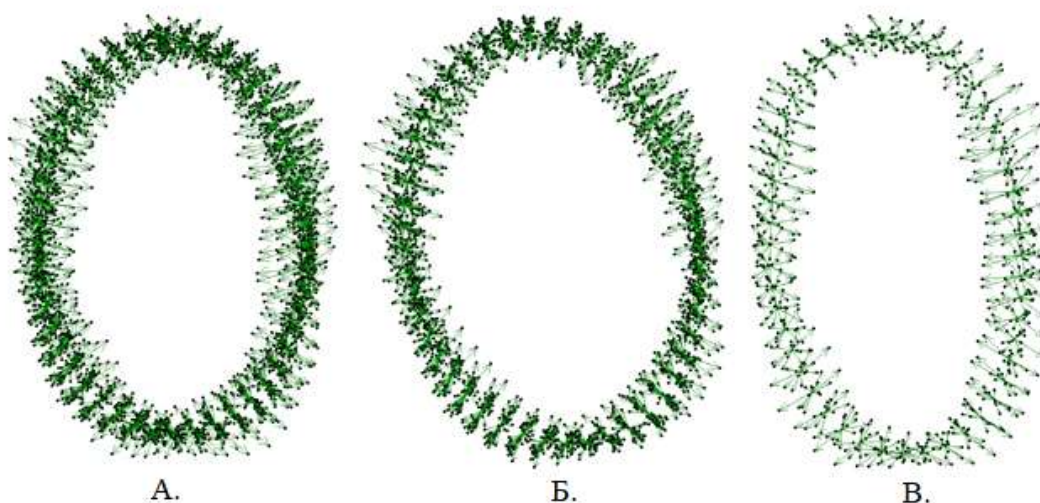


Рис. 14. Диаграммы контуров глаз особей двух семейств, средний контур для обоих семейств (А), семейства Libellulidae (Б) и Corduliidae (В).

На диаграмме ниже (рис. 15) аналогичным методом построены отклонения от среднего контура для четвертей глаз, содержащих бугорок, для стрекоз каждого семейства по отдельности.

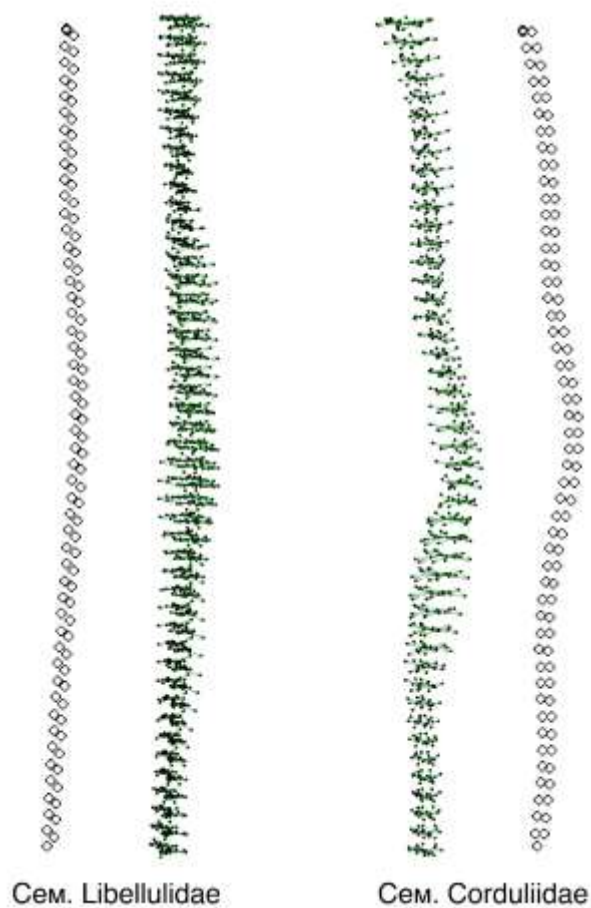


Рис. 15. Диаграммы, показывающие усредненный контур содержащего бугорок участка глаза для каждого из изучаемых семейств по-отдельности.

На диаграмме ниже (рис. 16) изображены два ящика с усами для семейств Corduliidae и Libellulidae, отражающие длину бугорка глаза. По этому критерию были выявлены значимые отличия между семействами (тест Вилкоксона для непарных выборок, или критерий Манна — Уитни, $p = 2.83 \cdot 10^{-6}$). В этой диаграмме включено 36 особей семейств Libellulidae и Corduliidae, 13 из которых относятся к семейству Corduliidae (*Cordulia aenea*) и 23 к Libellulidae (*Sympetrum danae*, *Libellula depressa*, *Libellula quadrimaculata*, *Sympetrum sanguineum*).

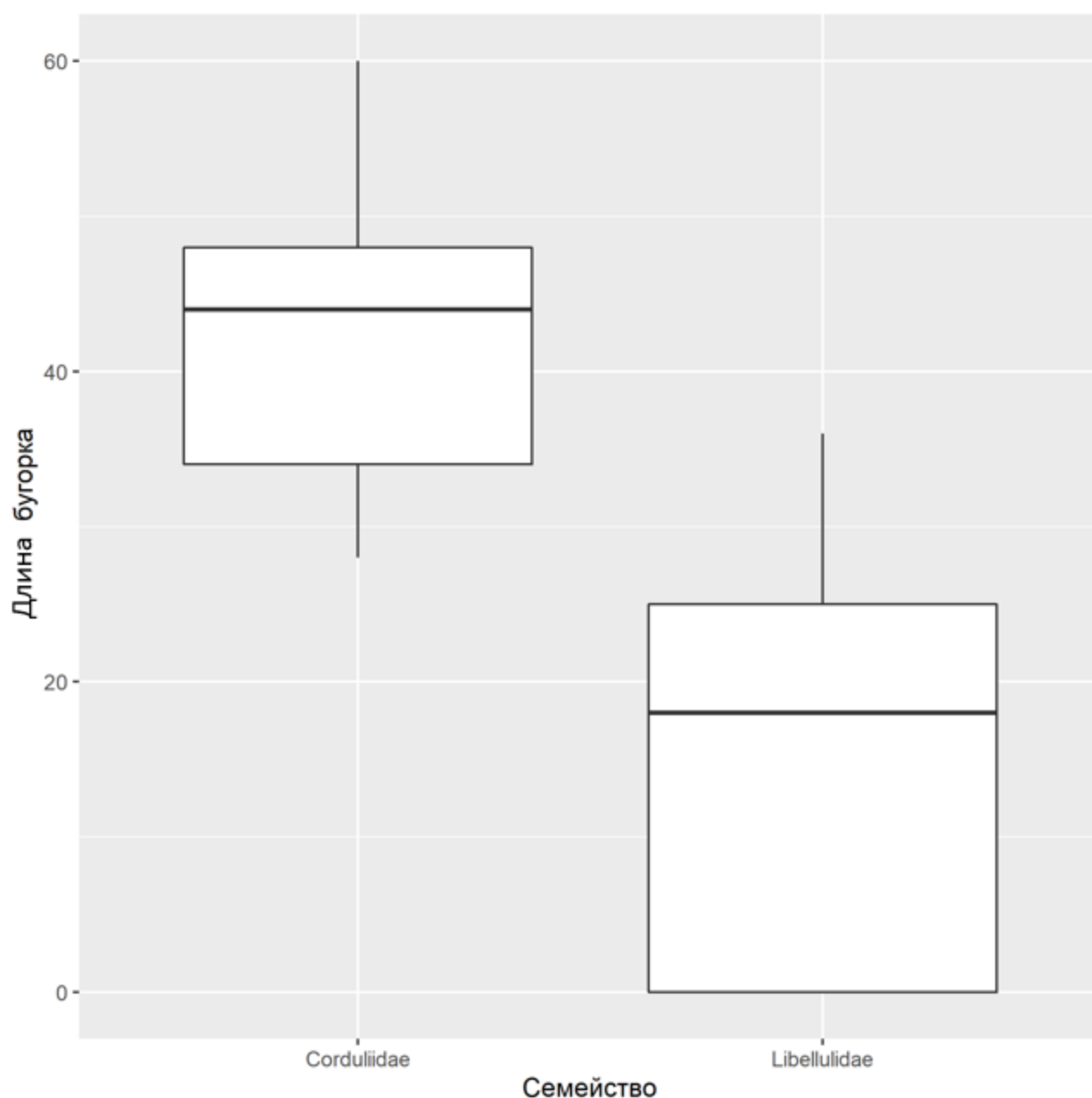


Рис. 16. Длина бугорка в проксимальной части глаза семейств Corduliidae и Libellulidae.

Анализ формы четвертинок глаз методом главных компонент представлен на рисунке 17.

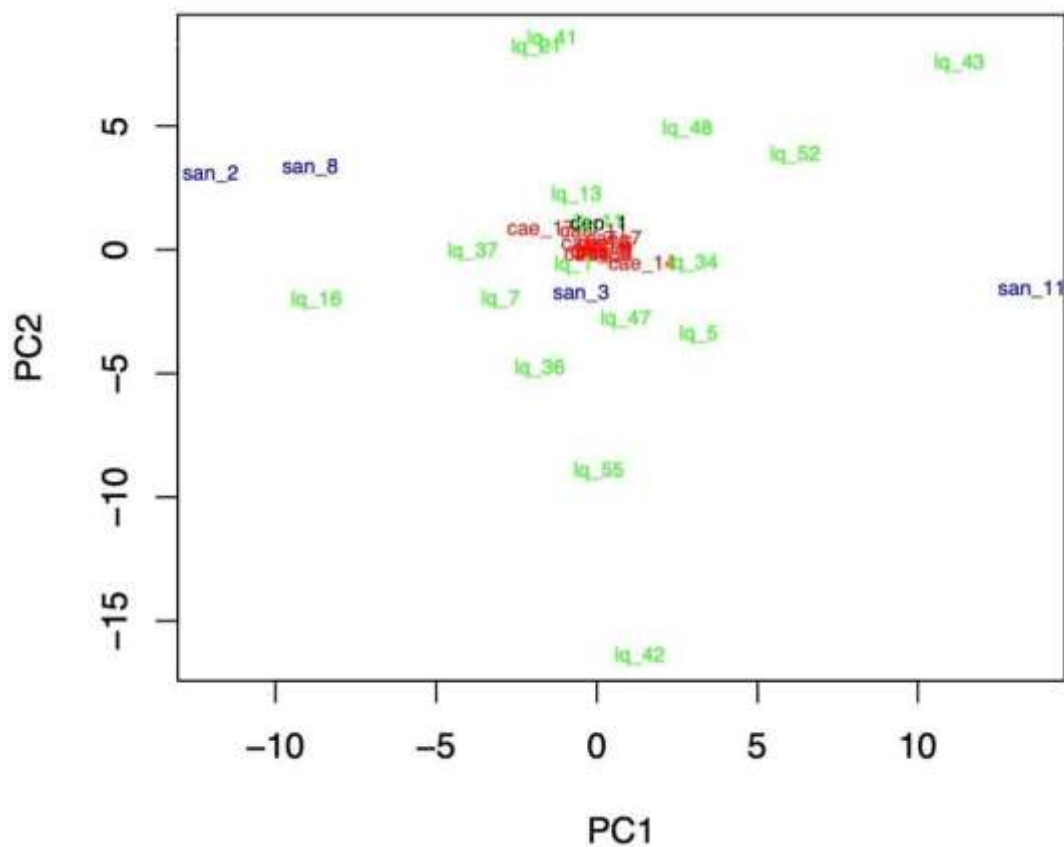


Рис. 17. Анализ главных компонент (PCA) для содержащих бугорок секторов глаз двух семейств: красные точки соответствуют семейству Corduliidae, а точки всех остальных цветов семейству Libellulidae. Для создания анализа было использовано 33 особи, относящиеся к одному виду семейства Corduliidae (*Cordulia aenae*) и трём видам семейства Libellulidae (*Libellula depressa*, *Libellula quadrimaculata*, *Sympetrum sanguineum*).

Обсуждение

Мы нашли два новых для Ярославской области вида стрекоз. Один вид относится к семейству Aeshnidae — *Aeshna viridis* Fabricius, 1775. Второй вид относится к семейству Libellulidae — *Somatochlora arctica* Zetterstedt, 1840. Вполне вероятно, что это действительно новые для области виды стрекоз, так как они были ранее отмечены в соседних областях. Как известно, любые разнокрылые стрекозы способны совершать миграции на довольно большие расстояния, преодолевать крупные водоемы, лететь на большой высоте и при разных погодных условиях. Из чего можно сделать вывод, что стрекозы семейств Aeshnidae и Libellulidae могли мигрировать из соседних областей в Ярославскую область.

Мы использовали стрекоз из коллекции, предоставленной нам нашими научными руководителями, которая была собрана Начатым В., Тищенко М., Хорохординой П. и другими, поэтому в наших графиках могут быть использованы виды, не отмеченные нами в списке.

Исходя из графика (рис. 11) мы делаем вывод, что стрекозы из семейства Corduliidae и Libellulidae не отличаются по соотношению длины и ширины глаз, но судя по графику (рис. 12) можно сделать вывод, что стрекозы этих семейств отличаются по длине бугорка в выборке. Также мы нашли значения медианы длины бугорка для представителей этих двух семейств, у Corduliidae — 0.035 мм, а у Libellulidae — 0 мм, то есть в большинстве случаев он отсутствует.

Однако, как мы видим на диаграмме с усредненными контурами содержащих бугорок секторов глаза (рис. 15), у семейства Corduliidae все-таки присутствует еле заметный бугорок, которого нет у семейства Libellulidae. Как мы предполагаем, этого бугорка не видно на диаграммах, построенных в tpsRelw по полному контуру, и в результате PCA по ряду причин:

1. На весь контур мы ставили всего 50 точек, что увеличивало погрешность в тех случаях, когда бугорки у разных особей располагаются в разных частях глаз (немногим ниже или выше середины глаза). Вместе с тем, мы не могли поставить более 50 точек, так как точность полных контуров глаз была недостаточно высокой из-за особенностей используемого метода.
2. Вместо того, чтобы анализировать интересующую нас часть глаза в поисках отличий, мы анализировали весь контур, на большей части которого отличий в действительности не было и быть не должно, в результате чего в среднем для контура отличий не было, и отличия в бугорке в процессе анализа остались незамеченными.
3. В выборке для первого метода в том числе были дефектные контуры глаз (поврежденные при сборе стрекоз и изменившиеся в размере после высыхания), а также глаз, сфотографированных в ракурсе, отличном от нужного, что также влияло на получившийся контур, из-за этого такие глаза мы убрали из выборки во втором методе.

Исходя из этих недостатков, мы можем сделать вывод, что диаграммы, построенные по сектору глаза (рис. 15), являются более достоверными: там ставилось 100 точек на четверть глаза, а не 50 на полный контур, сами контуры были получены более точным методом, а из выборки были удалены дефектные глаза.

Мы измерили длину бугорка глаза для стрекоз двух семейств: Libellulidae и Corduliidae (рис. 16). Исходя из построенных по полученным данным диаграмм, можно сделать вывод, что выборки пересекаются между собой, при этом $p = 2.83 * 10^{-6}$ (получен с помощью теста Вилкоксона, или критерия Манна — Уитни), что указывает на то, что выборки имеют достоверные различия между собой. Однако несмотря на различность выборок, использовать

признак в качестве определительного нельзя, так как не для всех особей он применим. На это же указывают результаты метода главных компонент для четверти глаза (рис. 17).

Так как на рис. 17 множества точек, каждой из которых соответствует особь одного из семейств, пересекаются, можно сделать вывод о том, что семейства *Corduliidae* и *Libellulidae* нельзя достоверно отличить по данному признаку. Исходя из того, что множества, образованные точками семейства *Corduliidae*, находится внутри множества, образованного точками семейства *Libellulidae*, и занимает там определенный небольшой «ареал», можно сделать вывод о том, что выборки действительно достоверно отличаются друг от друга, но при этом варианты четверти глаза семейства *Corduliidae* полностью совпадают с некоторыми из вариантов у семейства *Libellulidae*. Опираясь на другие диаграммы, можно заключить, что у *Corduliidae* бугорок всегда ярко выражен, а у *Libellulidae* он может как отсутствовать, что происходит чаще всего, так и в разной степени присутствовать, что затрудняет определение этого семейства по исследуемому признаку.

Высокая сгруппированность представителей *Corduliidae*, по сравнению с *Libellulidae* может быть связана с тем, что у нас есть только один вид из *Cordulidae*, но это не значит, что признак можно достоверно использовать, потому что охваченный нами вид является одним из самых массовых и распространённых в данном семействе. Это значит, что если признак не идеально работает для этого вида, то его нельзя назвать достоверным.

Итого по нашим данным можно сделать вывод о том, что по большинству параметров глаза семейств на нашей выборке не отличаются. Единственным признаком, по которому можно было бы их различать, является форма и длина бугорка, однако различия недостаточно сильные, чтобы использовать этот признак, как основной: выборки слишком сильно пересекаются. Следовательно, необходимо искать другие, более достоверные признаки.

Мы выделили те признаки, которые встречаются в некоторых определителях и позволяют различать изучаемые нами семейства в обход формы глаз. Как нам кажется, их можно было бы попробовать изучить в дальнейшем.

1. У представителей семейства *Corduliidae* проксимальный край заднего крыла угловатый, а у *Libellulidae* закругленный (Дьяконов, 1926).
2. У большинства видов *Corduliidae* тело большей частью металлическое, а у *Libellulidae* эта особенность практически не встречается (Богданов, Станковский, 2002).
3. У *Corduliidae* нет ребрышек в основании второго, третьего и четвертого сегментов брюшка, а у *Libellulidae* есть (Скворцов, 2010).

Выводы

1. Аннотированный список стрекоз Ярославской области по данным собранных нами стрекоз, данным определителя Скворцова, сайта www.inaturalist.org включает 47 видов из 8 семейств.
2. Найдены два новых вида (*Aeshna viridis* Fabricius, 1775; *Somatochlora arctica* Zetterstedt, 1840), не отмеченных ранее в Ярославской области.
3. Семейства разнокрылых стрекоз Corduliidae и Libellulidae отличаются по длине бугорка в выборке. Медианное значение длины бугорка у представителей семейства Corduliidae 0.035 мм, а у особей семейства Libellulidae бугорка обычно нет, но из этого есть много исключений, что не позволяет считать признак достаточно надежным, чтобы определять стрекоз только лишь по нему.

Благодарности

Мы благодарны администрации Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской Академии Наук, в особенности А. А. Боброву и А. В. Крылову, за предоставление возможности работать и собирать данные на территории института, С. М. Глаголеву, Е. В. Елисеевой, П. А. Волковой и всей биологической кафедре школы № 1543 за организацию летней практики, всем участникам практики, а в особенности Е. Ю. Фёдорову, Л. А. Абрамовой, Е. В. Елисеевой, А. В. Жданову, П. Т. Досковской и А. Д. Кириной, за помощь в сборе материалов; Е. Н. Устиновой за рецензирование работы. Также мы благодарны П. А. Волковой за помощь, оказанную при анализе данных, а А. Э. Салимовой и К. С. Фёдорову за подаренный позитив.

Литература

Богданов И. И., Станковский А. П. 2002. Стрекозы. Прямокрылые. Омск: ОмГПУ, 54 с.

Дьяконов А. М. 1926. Наши стрекозы: Определитель стрекоз и их личинок. М.; Л.: Государственное изд-во, 76 с.

[Интернет документ] [URL: https://www.inaturalist.org/observations?project_id=93973]

Начатой В., Тищенко М., Хорхордина П. [Интернет документ] 2020. Фауна стрекоз (Insecta: Odonata) Нижне-Свирского государственного природного заповедника и Удомельского района Тверской области, а также изменчивость крылового четырехугольника у некоторых видов [URL: <https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2022/01/dragonfl.pdf>].

Онишко В. В., Костерин О. Э. 2021. Стрекозы России. Атлас-определитель. Москва: Фитон XXI, 480 с.

Попова, А. Н. 1953. Личинки стрекоз фауны СССР (Odonata). Москва: Ленинград: Издательство академии наук СССР, 236 с.

Скворцов В. Э. 2010. Стрекозы Восточной Европы и Кавказа. Атлас-определитель. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 623 с.

Харитонов А.Ю., 1997. Стрекозы (Odonata) // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3. Паукообразные и низшие насекомые. Москва: Наука. С, 222–246.

Anderson R. C. 2009. Do dragonflies migrate across the western Indian Ocean? // Journal of Tropical Ecology. Vol. 25. P. 347–358.

Dijkstra, K.-D.B. & R. Lewington. 2006. Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe. British Wildlife Publishing, 320 pp

R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [URL: <https://www.R-project.org/>.]

Rohlf, F.J., 2001. tpsDig. New York: State University at Stony Brook. Version 1.23. [Electronic resource]. Mode of access: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.

Rohlf, F.J. 2007. tpsRelw: relative warps. Version 1.45 [Electronic resource]. – State University at Stony BROOK, N.Y. Mode of access: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.

Rohlf, F.J. 2004. tpsUtil – TPS utility program. Version 1.29. N. Y.: State Univ. at Stony Brook. [Electronic resource]. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>

Tillyard R. J. 1917. The Biology of Dragonflies: (Odonata or Paraneuroptera). Cambridge: at the University Press, 206 p.

[URL:https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=J584AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Odonata&ots=Mx3orxkN3s&sig=jLe27JS6YgURdovzpyoJGim4QxE&redir_esc=y#v=onepage&q=Odonata&f=false]

Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, [URL: <https://ggplot2.tidyverse.org>]

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., Fink, W. L. 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. San Diego, CA: Elsevier Academic Press.

Приложение

Список стрекоз Ярославской области по данным собранных нами стрекоз, данным определителя Скворцова, сайта www.inaturalist.org

Наши материалы были собраны с 8 июня по 5 июля на территории Ярославской области в Некоузском районе близ стационара «Сунога» В. А. Начатым, Ф. Ф. Рахимовой, Ю. С. Вереникиной, И. О. Владимировым, Е. Ю. Фёдоровым, А. В. Ждановым, Л. А. Абрамовой и другими.

Подотряд *Zygoptera*

I. Семейство *Calopterygidae*

1. *Calopteryx splendens* Harris, 1780 (стационар Сунога, близ поселка Борок)
2. *Calopteryx virgo* Linnaeus, 1758 (стационар Сунога, близ поселка Борок)

II. Семейство *Coenagrionidae*:

3. *Coenagrion armatum* Charpentier, 1840 (Скворцов 2010)
4. *Coenagrion hastulatum* Vander Linden, 1825 (Скворцов 2010)
5. *Coenagrion johanssoni* Wallengren, 1894 (Скворцов 2010)
6. *Coenagrion ornatum* Selys, 1850 (iNaturalist)
7. *Coenagrion puella* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
8. *Coenagrion pulchellum* Vander Linden, 1825 (Скворцов 2010)
9. *Enallagma cyathigerum* Charpentier, 1840 (Скворцов 2010)
10. *Erythromma najas* Hanseemann, 1823 (Скворцов 2010)
11. *Erythromma viridulum* Charpentier, 1840
12. *Ischnura elegans* Vander Linden, 1820 (Скворцов 2010)
13. *Ischnura pumilio* Charpentier, 1825 (Скворцов 2010)
14. *Pyrrhosoma nymphula* Tillyard, 1917 (Скворцов 2010)

III. Семейство *Lestidae*:

15. *Lestes dryas* Kirby, 1890 (Скворцов 2010)
16. *Lestes sponsa* Hanseemann, 1823 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
17. *Lestes virens* Charpentier, 1825 (Скворцов 2010)
18. *Sympsectra fusca* Vander Linden, 1820 (Скворцов 2010)

IV. Семейство Platycnemididae

19. *Platycnemis pennipes* Pallas, 1771 (Скворцов 2010)

Подотряд Anisoptera

V. Семейство Aeshnidae

20. *Aeshna cyanea* Müller, 1764 (Скворцов 2010)
21. *Aeshna viridis* Fabricius, 1775 (стационар «Сунога», близ поселка Борок) *
22. *Aeshna grandis* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
23. *Aeshna juncea* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
24. *Aeshna soneharai* Asahina, 1988 (iNaturalist)
25. *Anax imperator* Leach, 1815 (Скворцов 2010)
26. *Brachytron pratense* Müller, 1767 (Скворцов 2010)

VI. Семейство Corduliidae

27. *Cordulia aenea* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
28. *Epitheca bimaculata* Charpentier, 1825 (Скворцов 2010)
29. *Somatochlora flavomaculata* Vander Linden, 1825 (Скворцов 2010)
30. *Somatochlora metallica* Vander Linden, 1825 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)

VII. Семейство Libellulidae

31. *Crocothemis erythraea* Brulle, 1832 (Скворцов 2010)
32. *Leucorrhinia dubia* Vander Linden, 1825 (Скворцов 2010)
33. *Leucorrhinia pectoralis* Charpentier, 1825 (iNaturalist)
34. *Leucorrhinia rubicunda* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
35. *Libellula depressa* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
36. *Libellula quadrimaculata* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
37. *Orthetrum cancellatum* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
38. *Somatochlora arctica* Zetterstedt, 1840 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)*
39. *Sympetrum danae* Sulzer, 1776 (Скворцов 2010)
40. *Sympetrum flaveolum* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
41. *Sympetrum pedemontanum* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
42. *Sympetrum sanguineum* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
43. *Sympetrum vulgatum* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)

VIII. Семейство Gomphidae

44. *Gomphus vulgatissimus* Linnaeus, 1758 (стационар «Сунога», близ поселка Борок)
45. *Onychogomphus forcipatus* Linnaeus, 1758 (Скворцов 2010)
46. *Ophiogomphus cecilia* Fourcroy, 1785 (Скворцов 2010)

*Виды, ранее не отмеченные на территории Ярославской области.