Московская гимназия на Юго-Западе № 1543

Изучение частоты всплывания и изменчивости признаков, связанных с полетом, у жуков-плавунцов

Отчет о научно-исследовательской работе

Работу выполнили учащиеся 9 «Б» класса:

Дмитрий Ребриков

Асия Привалова

Анастасия Троицкая

Научные руководители:

П.Н. Петров

П.А. Волкова

Москва

2015

Резюме

Исследовали морфометрию крыльев жуков-плавунцов и водолюба:

•Graphoderus bilineatus (De Geer, 1774);

•Dytiscus marginalis Linnaeus, 1758;

•Dytiscus lapponicus Gyllenhal, 1808;

•Acilius sulcatus (Linnaeus, 1758);

•Dytiscus circumcintus Ahrens, 1811;

•Cybister lateralimarginalis De Geer, 1774

- ✓ Hydrophilus aterrimus (Eschscholtz, 1822),

Измеряли параметры тела. Статистические тесты подтвердили наличие положительной связи между общей длиной, длиной без головы, максимальной шириной и длиной надкрыльев.

Также исследовали связь частоты всплывания жуков-плавунцов с температурой воды. Для этого помещали жуков-плавунцов в банки с водой разной температурой и записывали в бланки изменения в поведении, в частности время между всплываниями. Исследовались виды: A. sulcatus, Ilybius ater, D. marginalis Linnaeus, 1758, G. biliniatus (De Geer, 1774). Мы не обнаружили этой связи.

Отработали методику содержания жуков плавунцов в стеклянных банках с водой (объем 500 мл) или с влажной бумагой (объем воды 50 мл), жуков содержали в темном, сухом и прохладном месте на полке под навесом на протяжении недели, и в течении срока смертность была практически нулевой. Жуки умирали на опытах.

Введение

Всплывание жуков плавунцов

Жуки-плавунцы принадлежат к отряду жесткокрылых (Coleoptera), одному из крупнейших отрядов насекомых, в котором обитатели пресных вод составляют сравнительно небольшую группу видов (Горностаев и Левушкин, 1973). В России и на сопредельных территориях встречается около 700 видов жесткокрылых, так или иначе связанных с пресными водоемами (Кирейчук, 2001). Взрослые жуки и личинки большинства видов дышат атмосферным воздухом, поднимаясь для этого на поверхность или используя воздух, содержащийся в тканях подводных растений (Горностаев и Левушкин, 1973).

Жуки-плавунцы (семейство Dytiscidae) обитают в различных, преимущественно стоячих водоемах. При плавании они двигают задними ногами одновременно, при этом забирая воздух задним концом тела (Горностаев и Левушкин, 1973). Поднявшись на поверхность, плавунец выставляет наружу задний конец брюшка, выдвигая из-под приподнятых надкрылий два последних членика тела; насекомое начинает делать дыхательные движения, расширяя и удлиняя брюшко и попеременно его сокращая. Первое, что делает плавунец, подплыв к поверхности воды,- это глубокий выдох. Выдыхание воздуха из трахейной системы происходит активно, путем сжимания полости тела, а вместе с этим и трахей, с помощью мускулатуры; вслед за этим, вследствие расширения эластичных трахей, наступает вдох. Обычно необходимый для жизни жука обмен воздуха совершается плавунцом в течение нескольких секунд; но, если плавунца не беспокоить, он может оставаться на поверхности воды довольно долго, пока не провентилирует основательно всю свою трахейную систему, что может продолжаться иногда минут двадцать (Павловский и Лепнева, 1948).

Как и любые живые организмы, жуки-плавунцы подвержены влиянию множества факторов, среди которых первостепенные – солнце и температура, а второстепенные – влияние ионизации, ветра и атмосферного давления, напряженность электрических полей и т.д. Все насекомые пойкилотермны, т.е. чувствительны к изменениям температуры среды, приводящим к изменению температуры их тела (Наумов, Карташов, 1979). Причиной этому является низкий уровень метаболизма, который они стараются повышать за счет внешнего тепла. При этом наблюдается зависимость: чем меньше организм по размеру, тем сильнее на него влияет изменение температуры окружающей среды (Динабург, 2001). При этом температура может оказывать двоякое воздействие на насекомых. Во-первых, с ее повышением и соответственным увеличением скорости обмена веществ появляется возможность того или иного рода поведения, а также увеличивается скорость движения (непосредственное воздействие). Во-вторых, температура среды и ее изменения воспринимаются терморецепторами, при этом насекомое может активно искать благоприятную для себя зону и уходить из неблагоприятной (сигнальное воздействие). Как слишком низкие, так и слишком высокие температуры подавляют активность (Шовен, 1953).

Таким образом, можно говорить о важной роли температурного режима как в распространении различных видов насекомых, так и в определении их суточной активности. Такие предпочтения для каждой группы насекомых индивидуальны и свидетельствуют не только об экологических предпочтениях, но и об особенностях физиологии таксона. В литературе в основном встречаются работы по исследованию влияния температурного режима на уровень активности рабочих муравьев, различных сельскохозяйственных

вредителей, паразитических насекомых, а также несколько видов цикад. Мы провели несколько экспериментов, чтобы изучить влияние изменений температуры на двигательную активность другой группы насекомых — жуков-плавунцов.

Исследования поведения жуков-плавунцов на биостанции Московской гимназии на Юго-западе «Озеро Молдино» ведутся уже третий год. В 2013 и 2014 гг. начали исследования жуков-плавунцов на суше, а в 2014 году была отмечена высокая смертность при содержании жуков-плавунцов в неволе (Петропавловский и др., 2014). Поэтому мы решили отработать методику содержания, которая не была бы сопряжена с такой высокой смертностью.

Морфометрия жуков плавунцов

Строение крыла – один из основных признаков, характеризующих отряды и другие таксоны насекомых. Передняя пара крыльев может быть умеренно уплотненной, или кожистой, но еще с хорошо заметным жилкованием (прямокрылые, богомоловые, таракановые), или сильно уплотненной, или роговой, когда жилкование с верхней стороны крыла обычно незаметно (жесткокрылые). Такие крылья называют надкрыльями, или элитрами. На основании приведенной классификации можно в краткой, но достаточно подробной форме охарактеризовать крылья любого отряда насекомых. Так, у жесткокрылых крылья голые, разнородные, первая пара роговая (элитры) (Стрелкова и Дуктов, 2006).

Среди всех видов водных жесткокрылых можно выделить три группы по способности к полёту:

1. Облигатно летающие (летательная мускулатура у имаго всегда развита полностью, крылья не редуцированы, все особи могут летать).

2. Факультативно летающие (летать может только часть особей; при этом у особей с нормально развитой мускулатурой мышцы могут со временем редуцироваться, и такие особи теряют способность к полёту). Отмечены случаи, когда летающие особи встречаются лишь в популяциях на периферии ареала, участвуя в расселении вида, а в центральных частях ареала все или почти все особи не способны к полёту.

3. Облигатно нелетающие (все особи не могут летать, летательная мускулатура недоразвита или не развита, крылья обычно редуцированы или отсутствуют) (Федоров и др., 2005).

Морфометрия крыльев жуков-плавунцов почти не изучалась, поэтому мы решили выяснить, как коррелируют параметры крыльев жуков-плавунцов друг с другом и с размерами тела.

<u>Цель нашей работы</u> – изучение частоты всплывания жуков-плавунцов разных видов при различной температуре, изучение изменчивости морфометрических признаков крыльев жуков-плавунцов разных видов. Исходя из этого нашими основными задачами было:

1. Усовершенствовать методику содержания жуков-плавунцов в неволе.
2. Изучить, в какой воде, теплой или холодной, жуки-плавунцы всплывают на поверхность чаще, и почему, т.е. оценить активность жуков в воде при различной температуре.

3. Установить, как соотносятся размеры жуков-плавунцов разных видов с размерами их крыльев.

Материалы и методы

Содержание жуков-плавунцов

Жуков содержали в стеклянных банках (объемом 720 мл) в сухом, темном месте, на деревянных полках, на высоте 1,65 м, у восточной стены дома, под навесом. В некоторых банках жуки-плавунцы содержались в водной среде: мы налили в банки 500 мл воды и положили туда плотную этикетку из бумаги для черчения размером 6×8 см с номером жука, написанным карандашом. Других же жуков содержали в банках с маловодной средой: скомканный и утрамбованный на дне деревянным колышком лист А4 (Svetocopy) мы заливали 50 мл воды, которые отмеряли мерным стаканчиком, также, как и в первые банки помещали этикетку размером 5×7 см с номером жука, написанную карандашом. Банки накрывали разноцветными (голубыми, зелеными и белыми) лоскутками из тюлевой ткани, завязывали их резинкой на два узла, чтобы жуки не улетели (рис. 1). Жуков для исследований брали именно из этих банок. Вид и номер жука записывали в бланк с учетом среды, в которой он содержался, пола, времени, места поимки жука, времени начала содержания и учетом температуры в данное время.

Рис. 1. Банки с двумя различными средами (справа – влажная, слева – водная), в которых содержали жуков-плавунцов

Изучение активности жуков-плавунцов

Работу по изучению активности жуков-плавунцов проводили в деревне Полукарпово Удомельского района Тверской области в период с 29 июня 2015 года по 6 июля 2015 года.

Таблица 1. Виды и число особей жуков-плавунцов, взятых для изучения содержания в неволе и частоты всплывания

	Число самок	Число самцов	Общее число	Число опытов
A. sulcatus	4	3	7	4
I. ater	6	2	8	4
D. marginalis	0	2	2	1

Перед началом опытов записывали показания температуры воздуха, наличие осадков и облачности. Все опыты происходили на улице, справа от крыльца «Антибани» (двухэтажного здания, в восточной части биостанции) ставили школьную парту.

Взяли две прозрачные банки с водой (объемом банок 720 мл, объем воды 500 мл), два одинаковых стеклянных термометра, две одинаковые металлические тарелки (объемом 720 мл). Тарелки с банками поставили на деревянную конструкцию, которая стояла на школьной парте (рис. 3).

Рис. 2. Установка для исследования частоты всплывания жуков-плавунцов (вид сверху)

Рис. 3. Установка на парте для исследования частоты всплывания жуков-плавунцов (вид сбоку)

На дно банки, в качестве субстрата, за который можно зацепиться, мы положили скомканный и утрамбованный деревянным колышком белый лист бумаги формата А4 (Svetocopy) и придавили его камнем (объемом 3 мл). В банки также помещались этикетки с номером жуков, находящихся в ней, размером 6×8 см, написанные карандашом. В первую тарелку с банкой мы налили 500 мл холодной воды, а во вторую – 500 мл горячей воды (100°С). Объем воды мы измеряли кружкой с делениями (рис. 2). Соответственно, в первой банке температура воды не изменялась, а во второй температура постепенно поднималась до 29–37°С.

Жуков одного вида (таблица 1) посадили в банки (в каждой емкости находился один жук), мы начали опыт, записывая изменения в их поведении в бланки (прил. 1), а также время от начала эксперимента. В графы бланков ставили метки так, что в случае, если изменения в поведении жука происходят слишком часто, как, например, в горячей воде, то на каждую отметку нет данных по температуре. Для отслеживания времени использовали таймер на телефоне марки Apple iPhone 5S Gold 32Gb model A1457. Опыт продолжался 10 минут. Далее пересаживали жука из первой банки во вторую, а из второй, соответственно, в первую и продолжали по тому же принципу. Опыт прекращался, если один из жуков погибал от перегревания.

Изучение изменчивости морфометрических признаков жуков-плавунцов

Для изучения мы взяли несколько видов жуков, показанные в таблице (таблица 2). Каждому жуку присваивали свой номер, предварительно определяя его пол и вид. После этого сантиметровой линейкой измеряли общую длину тела, длину тела без головы, максимальную ширину тела и длину надкрыльев с точностью до миллиметра (погрешность равна ± 1 мм). После этого препаровальным лезвием (маленьким ножичком) мы приподнимали надкрылья и вырезали крылья из тела жука, расправляли крылья с помощью

энтомологических булавок на расправилке. Крылья, которым присваивался номер жука, мы клали на кусок пенопласта (10×15 см), расправляли с помощью энтомологических булавок, фиксировали с помощью кусочков файла (произвольного размера) и высушивали (рис. 4). Высохшие расправленные крылья мы измеряли (максимальная длина и максимальная ширина) и записывали данные в бланк. После сушки мы снимали кусочки файла и булавки и приклеивали крылья на плотную бумагу размером А4 и рядом подписывали все измеренные данные жука, записывали вид жука и его пол.

Таблица 2. Число особей, исследованных у разных видов жуков-плавунцов

	Число исследуемых экземпляров		
Вид	Число самок	Число самцов	Общее число
G. bilineatus	10	11	21
D. marginalis	–	4	4
D. lapponicus	6	9	15
A. sulcatus	2	1	3
D. circumcintus	1	–	1
C. lateralimarginalis	1	2	3
Hydrophilus aterrimus (Eschscholtz, 1822)	1	–	1

Рис. 4. Крыло, высушенное и расправленное для измерения параметров

Полученные данные о параметрах крыльев сопоставляли с данными о способности жуков-плавунцов к полету взятыми из литературных источников и выясняли, могут эти виды летать или нет, или часть вида имеет способность к полету, а другая нет.

В статистической программе R (Development Core Team, 2013) для изучения корреляции мы провели тест Спирмена для непараметрических данных у двух видов по отдельности и у всех видов сразу.

Результаты

Для тестов по всплыванию мы брали только правое крыло, так как измеренные параметры правых и левых отличались в пределах погрешности ± 1см.

1. Вид *G. billineatus*

   Тест Спирмена показал связь между длиной всего тела жука и длиной правого крыла. (p-value = $9{,}94^{-6}$, r = 0,807). Для подтверждения этого мы построили диаграмму рассеяния (рис. 5).

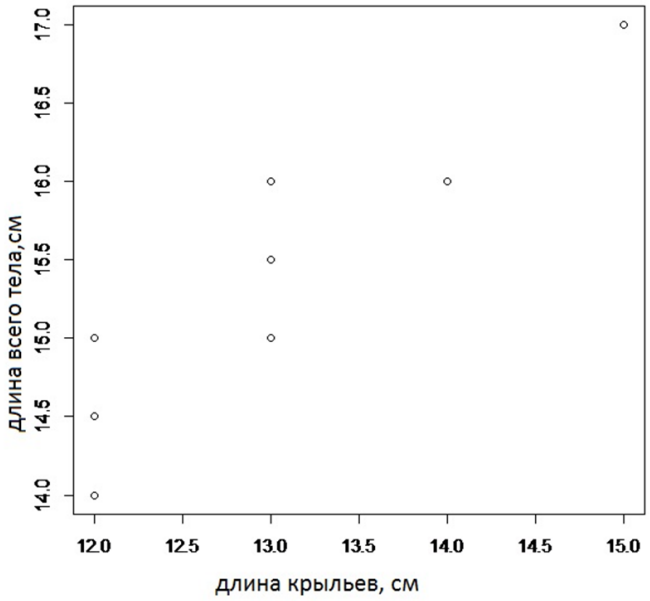


Рис. 5. Диаграмма рассеяния, показывающая связь между длиной крыльев и длиной тела, вид G. bilineatus

2. *D. lapponicus*.

   Тест Спирмена показал связь между длиной крыльев и длиной всего тела жуков-плавунцов данного вида (p-value = $1{,}342^{-6}$, r = 0,919). Для подтверждения построили диаграмму рассеяния (рис. 6).

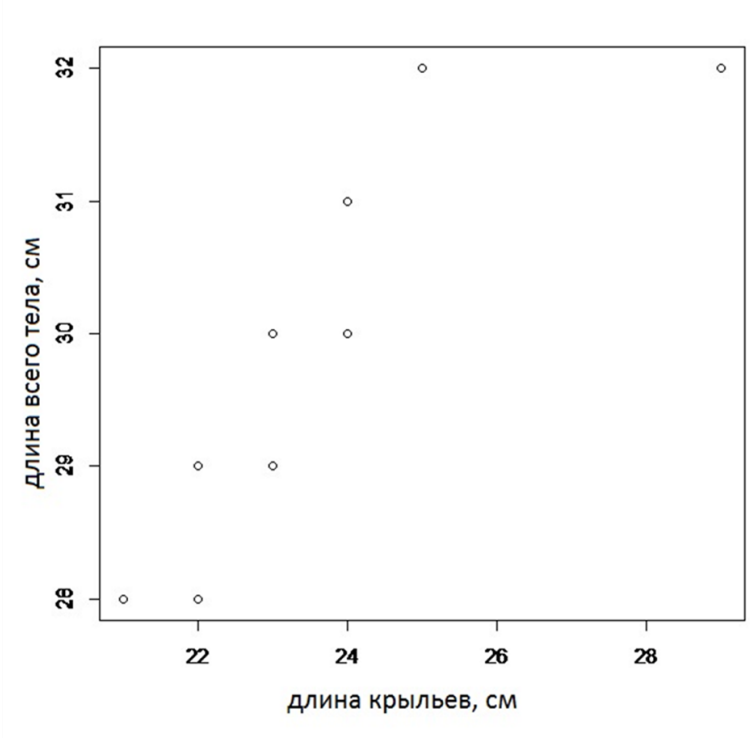


Рис.6. Диаграмма рассеяния, показывающая связь между длиной крыльев и длиной тела, вид D. lapponicus

3. Все изученные виды

Тест Спирмена показал связь между длиной крыльев и длиной тела у всех изучаемых видов (p-value $<2.2^{-16}$, r = 0,974). Для подтверждения ниже приведена диаграмма (рис. 7).

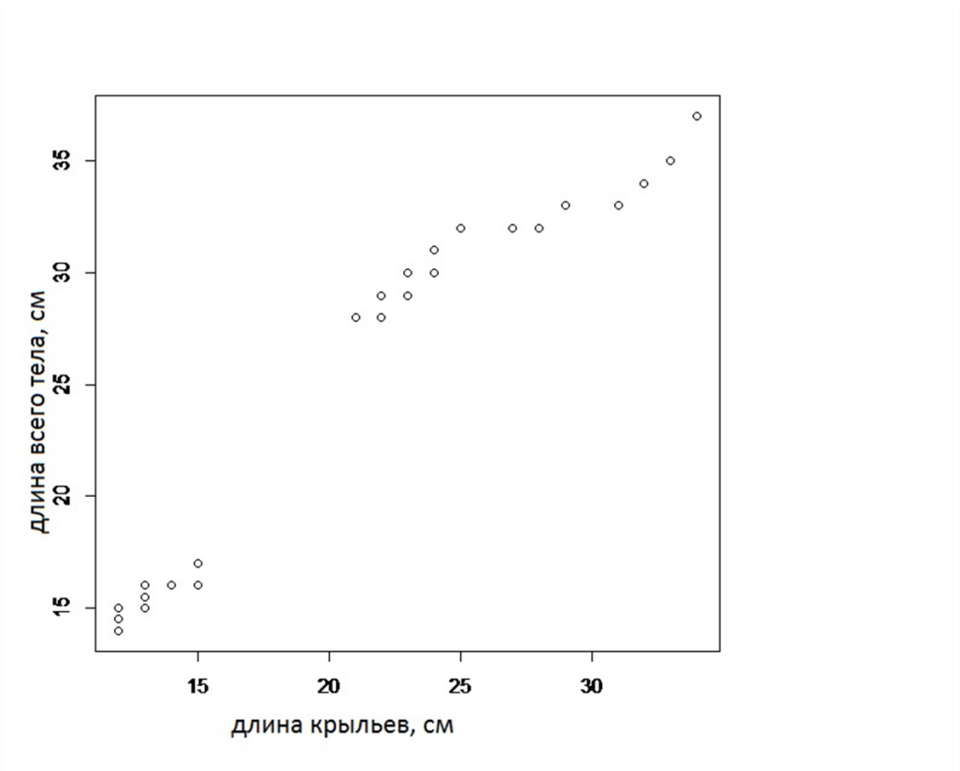


Рис. 7. Диаграмма рассеяния, показывающая связь между длиной крыльев и длиной тела у всех изученных видов

Мы провели тест Спирмена на непараметрические данные, чтобы выяснить, есть ли связь между длиной крыльев и общей длиной тела (таблица 3).

Таблица. 3. Результаты теста Спирмена для непараметрических данных о наличии связи между длиной крыльев и общей длиной тела

Вид	p-value	r	Есть ли зависимость
G. bilineatus	$9{,}94^{-6}$	0,807	Да
D.lapponicus	$1{,}342^{-6}$	0,919	Да
Все виды	$< 2{,}2^{-16}$	0,974	Да

Результаты теста Спирмена для связи ширины крыльев и общей длины тела приведены в таблице 4. (таблица 4).

Таблица 4. Виды жуков, использованных для изучения морфометрических данных. Результаты теста Спирмена для непараметрических данных, связь между шириной крыльев и общей длиной тела.

Вид	p-value	R	Есть ли зависимость
G. bilineatus	$3{,}716^{-5}$	0,774	Да
D. lapponicus	$6{,}864^{-8}$	0,958	Да
Все	$< 2{,}2^{-16}$	0,957	Да

Провели тест Спирмена, чтобы выяснить, есть ли связь между шириной и длиной крыльев (таблица 5).

Таблица. 5. Виды жуков, использованных для изучения морфометрических данных. Результаты теста Спирмена для непараметрических данных, связь между шириной и длиной крыльев

	p-value	*R*	*Есть ли зависимость*
Graphoderus bilineatus (De Geer, 1774)	*0,246*	*0,264*	*Нет*
Dytiscus lapponicus Gyllenhal, 1808	*$3,253^{-7}$*	*0,946*	*Да*
Все	*$<2,2^{-16}$*	*0,976*	*Да*

Для выявления связи между температурой воды, в которой находились жуки и частотой всплывания, провели тест Вилкоксона для непараметрический данных.

Таблица. 6.Результаты теста Вилкоксона для непараметрических данных, связь между повышением температурой воды и временем, проведенным под водой жуками-плавунцами.

Вид	p-value	Есть ли различия
Acilius sulcatus	0.0001	Да
Ilybius ater	0.0004	Да
Dytiscus marginalis	0.1178	Нет
Все	8.497e-07 (0.00000084)	Да

Обсуждение

Смертность жуков-плавунцов, отмеченная нашими предшественниками, изучавшими их поведение на биостанции «Озеро Молдино» в 2014 году, была очень высокой и мешала выполнять работу (Петропавловский и др., 2015). Они содержали жуков-плавунцов в приблизительно таких же банках, как и мы, но в качестве субстрата использовали туалетную бумагу. Возможно, из-за каких-то вредных веществ, содержащихся в туалетной бумаге, и погибали жуки-плавунцы. Также известно, что в прошлом году во время выполнения самостоятельных работ было очень жарко (прил. 2), и наши предшественники содержали жуков-плавунцов в недостаточно тенистом и прохладном месте, что также могло повлиять на высокую смертность жуков. Мы отработали методику содержания жуков в тенистом и прохладном месте, в банках с разной средой (см. методику). И в той, и в другой среде результаты оказались одинаково хорошими. Возможно, влажная среда лучше водной, так как жуки имеют возможность лучше охлаждаться и перебираться на "сушу", если в воде им некомфортно. Мы вели учет смертности жуков, и выяснилось, что они умирали исключительно либо в результате наших опытов, либо в результате опытов, которые ставили Клоков и Попов (2015), выполняющие работу по поведению плавунцов на суше. Только один жук из исследованных нами умер по неизвестной нам причине в ходе содержания в неволе. Смертность была почти нулевой, из чего мы можем сказать, что усовершенствовали методику содержания жуков-плавунцов в неволе и можем ее рекомендовать ее другим исследователям.

Одной из первоначальных задач нашей работы было выяснить, чем, как и когда питаются жуки-плавунцы разного пола и разных видов. Взяли жука вида *I. ater* посадили его в большую чашку Петри с 50 мл воды и добавили туда 5 личинок комара *Anopheles* Meigen, 1818. На протяжении 5 минут непрерывно следили, питается он или нет, но жук не питался. В связи с этим мы отказались от данной темы и перешли к изучению частоты всплывания жуков. Интересно, что по прошествии недели, жук так и не съел личинок, хотя все это время они находились в одной с ним банке. Это можно объяснить стрессом, связанным с необычными для жука условиями обитания в неволе или с тем, что имаго данного вида не питается личинками комаров.

Мы изучали признаки, связанные с полетом, такие как ширина и длина крыльев, общая длина тела и длина надкрыльев. Выяснилось, что у тех жуков, по которым у нас было много данных, зависимость одних признаков от других прослеживается: например, зависимость ширины крыльев от длины, что связано с площадью крыла, важную характеристику, при полете. Больше всего данных у нас было собрано по видам *D.lapponicus* и *G. bilineatus*.

В восточных популяциях встречаются летающие особи, следовательно, *D. lapponicus* относится к факультативно летающим видам, причём способность к полёту встречается с разной частотой в популяциях, обитающих на разных участках ареала (Федоров и др., 2005).

Мы нашли зависимость длины крыльев от общей длины тела, что говорит о пропорциональности развития крыльев, а также зависимость ширины от длины крыльев и от общей длины, что также свидетельствует о развитости крыльев у данного вида. Таким образом, особи *D. lapponicus*, которых мы изучали, могли быть способны к полету, если обладали развитыми летательными мышцами. Проверить способность к полету у данного вида можно, изучив его летательную мускулатуру, но однозначно об этой способность можно судить только по результатам непосредственного наблюдения за жуками.

Способность к полету у жуков вида *G. bilineatus* наблюдалась (Nilsson & Holmen, 1995). По результатам тестов связь между длиной, шириной крыльев и общей длиной тела есть, из чего мы можем судить о развитости крыльев у исследованных особей, из чего мы не можем однозначно сказать о способности к полету у данных особей.

У нас не хватило данных для статистического анализа *H. aterrimus* и *D. circumcintus*, *A. sylcatus*, *D. marginalis.* По ним у нас было отпрепарировано только 1–5 экземпляра. Дальнейшие исследования могут заполнить этот пробел. Измеренные параметры *H. aterrimus семейства* Hydrophilidae данной особи значительно превышали параметры даже таких видов, как *D.marginalis* и *D. circumcintus* семейства *Dytiscidae*.

Всплывание жуков-плавунцов

По результатам работы мы можем судить о том, что связь между частотой всплывания в горячей или холодной воде есть. Жуки-плавунцы всплывают чаще, в горячей (таблица 6). Мы получили ожидаемые результаты у *A. sulcatus* и *I. ater.* Но для *D. marginalis* у нас слишком мало данных.

Выводы:

1) Мы усовершенствовали методику содержания жуков-плавунцов видов A. sulcatus, I. ater, D. marginalis, G. biliniatus.

2) Судя по степени развития крыльев у исследованных особей, эти особи могли быть способны к полету.
3) Размеры крыльев исследованных жуков пропорциональны размерам тела.
4) Нашли зависимость частоты всплывания A. sulcatus и I. ater от температуры воды.

Благодарности

Мы благодарим С.М. Глаголева, П. А. Волкову и Е. В. Елисееву за организацию практики на биостанции «Озеро Молдино», Александра Попова и Артема Клокова за помощь с проведением опытов, а также Ивана Дадыкина и Ульяну Колесникову за помощь с определением жуков, А.А. Прокина за рецензию.

Литература

Anders N. Nilsson and Mogens Holmen The Aquatic Adephaga (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark, Volume II. Dytiscidea, 1995, с. 192.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing [Electronic resource]. – 2013.

Горностаев Г.Н., Левушкин С.И. Определитель пресноводных насекомых средней полосы Европейской части СССР. М., 1973, с. 186

Динабург П. Влияние температуры на жизненные процессы. М.: Московский Государственный Технологический Университет, 2001, с. 15.

Кирейчук А.Г. 2001. Более 15 разделов в "Определителе пресноводных беспозвоночных России" - Т. 5. СПб: Наука.

Клоков А., Попов А. Поведение жуков-плавунцов на суше. М., 2015, с. 12. Режим доступа: http://www.bioclass.ru/?d=84

Наумов Н.П., Карташев Н.Н. Зоология позвоночных. Ч. 1. Низшие хордовые, бесчелюстные, рыбы, земноводные. М.: Высшая школа, 1979, с. 605

Павловский Е.Н., Лепнева С.Г. 'Очерки из жизни пресноводных животных' - Ленинград: Советская наука, 1948, с. 458.

Петропавловский М., Кашин К., Полканова А. Изучение поведения жуков-плавунцов на суше в Удомельском районе Тверской области М., 2015, с. 40. Режим доступа: http://www.bioclass.ru/?d=84

Стрелкова Е.В., Дуктов В.П. Морфология насекомых. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2006, с. 15.

Федоров И., Беляев Е., Бурый А., Петров П. Географическая изменчивость окраски имаго и способности к полету в популяциях жука-плавунца Dytiscus lapponicus (Coleoptera, Dytiscidae) // Материалы Беломорской экспедиции Московской Гимназии на Юго-Западе. Вып. 5, 2005. Режим доступа: http://herba.msu.ru/shipunov/belomor/2005/zoolog/dytis.htm

Шовен Р. Физиология насекомых. М.: Издательство иностранной литературы, 1953, с. 497.

Приложение

Прил. 1. Бланк для наблюдения за всплыванием жуков-плавунцов.

Частота всплывания жуков-плавунцов МОЛДИНО 2015

Вид ______________________________ Пол ________ Номер

Место наблюдения ______________________________

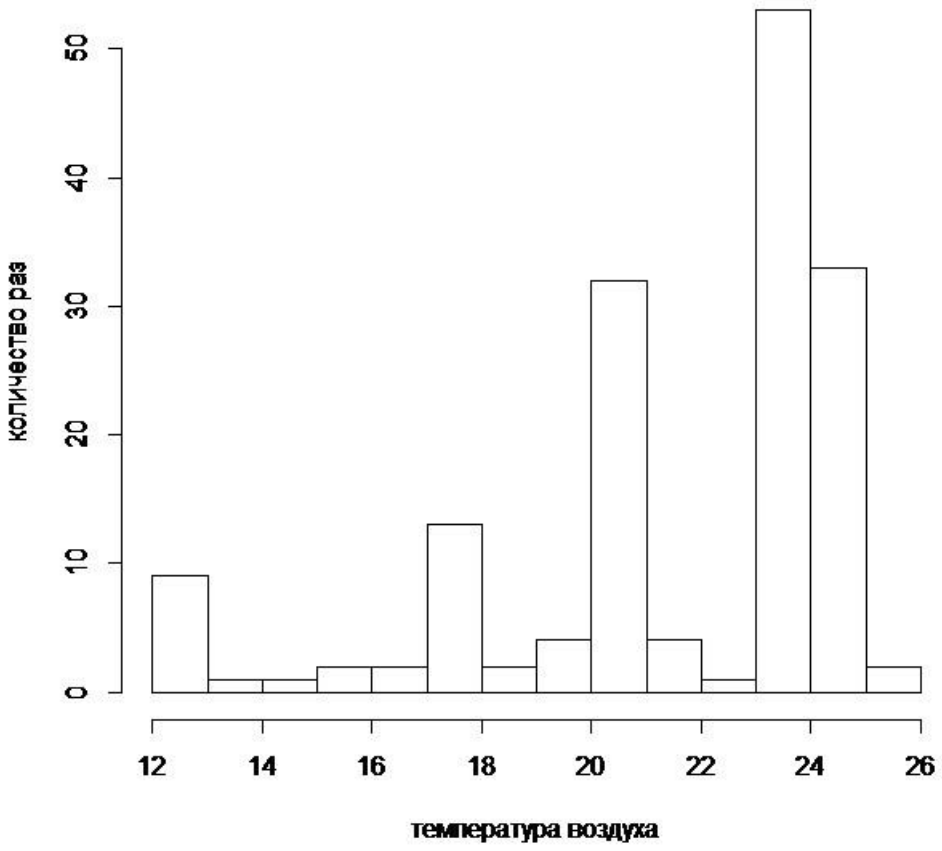
Наблюдатели ______________________________

Время начала наблюдения ________ Дата ________ t воды (начало опыта)

t окружающего воздуха ___________ Облачность _______________

Осадки ________ (лив.,морос.,нет) (ясн.,пасм.,перем.)

Объем банки, л _______ Объем воды в банке, л _______

Время от начала опыта	Наблюдаемая форма поведения					t°C
	Неподвижно сидит на дне		Плавает в толще воды		Всплыл + время сидения на пов.	

Прил. 2. Данные по температуре за прошлый год, в период с 01.07.2014 по 07.07.2014 Запись температуры проводилась приблизительно 10 раз за день. (Петропавловский и др., 2015)