

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра морфологии и  
экологии животных

**ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ  
ПРИ КОММУНИКАЦИИ МУРАВЬЁВ РОДА *FORMICA*  
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) И ЖУКОВ РОДА  
*SCYDMAENUS* (COLEOPTERA: STAPHYLINIDAE)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 423 группы  
Специальности 06.03.01 – Биология  
Биологического факультета  
Рига Елены Юрьевны

Научный руководитель:

д.б.н., профессор

\_\_\_\_\_

В.В. Аникин

Зав. кафедрой морфологии и экологии животных:

д.б.н., профессор

\_\_\_\_\_

Г.В. Шляхтин

Саратов 2016

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность данной работы** обусловлена недостаточной изученностью биоакустических сигналов муравьёв и мирмекофильных жесткокрылых при их совместном существовании.

**Объект исследования** – мирмекофильные жесткокрылые *Scydmaenus helwigii* Herbst, 1792, обитающие в симбиозе с муравьями *Formica rufa* Linnaeus, 1761.

**Новизна данного исследования** заключается в том, что никогда ранее не были исследованы акустические сигналы данных представителей на территории Российской Федерации.

Первые эксперименты по данной теме были проведены автором данной работы и были представлены на международной студенческой конференции «Ломонсов 2016» (Рига, 2016).

**Цель исследования** – установить наличие коммуникационных акустических сигналов между муравьями *Formica rufa* и жуками *Scydmaenus helwigii*.

### **Задачи исследования:**

1. Выявить наличие акустических сигналов различных каст муравьёв (матка, рабочие и солдаты);
2. Выявить наличие акустических сигналов мирмекофильных жесткокрылых;
3. Определить принадлежность пола *Scydmaenus helwigii*, который издаёт характерные стрекотания;
4. Посмотреть на электронном микроскопе стридуляционные органы мирмекофильных жесткокрылых;
5. Посредством прямого эксперимента отметить характерные черты в поведении различных каст муравьёв на воспроизведение звуковых сигналов своих сородичей и мирмекофильных жесткокрылых.

**Краткая характеристика материалов.** Во введении сформулирована актуальность работы, поставлены цель и задачи исследований, определена научная новизна. Первая глава «История изучения биоакустики муравьёв и мирмекофильных жесткокрылых» посвящена обзору литературы по изучаемым видам насекомых. Вторая глава «материалы и методы» посвящена методам записи акустического канала мирмекофильных жесткокрылых и муравьёв; обработке полученных записей; методам классификации звуков по типу реакции. Во второй главе первого подраздела «Математическая обработка данных» даны основные методы статистической обработки полученных данных. В третьей главе «Результаты исследований» представлен анализ результатов собственных исследований. На основании проделанной работы сделаны выводы.

**Структура и объем работы.** Работа изложена на 49 страницах машинописного текста и включает в себя определения, введение, 3 главы с 3 таблицами, 18 рисунками, 5 формулами, выводы и 3 приложения. Список использованных источников содержит 22 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. История изучения биоакустики муравьёв и мирмекофильных жесткокрылых

В данной главе рассматриваются литературные источники, посвященные по изучаемым видам насекомых.

Приводятся данные о первых исследованиях биоакустики насекомых в целом (Эвинг, 1989; Баилей, 1991; Александер, 1967; Жантиев, 1981). Дана краткая характеристика о роли акустического сигнала в общении колонии муравьёв (Барберо и др., 2009; Фоукс, Деторре, Нехринг, 2011; Касацци, 2013). Приводится подробное описание стридуляционных органов у таких представителей как *Myrmica scabrinosis* Nylander, 1846 и *Pheidole pallidula* Nylander, 1849 (Касацци и др., 2013; Де Гиулио и др., 2015). Дана одна из систематик мирмекофильных жесткокрылых по расположению стридуляционных органов на теле (Де Гиулио, 2014). Был рассмотрен вопрос о том, что эволюционно раньше сформировалось: акустический или химический каналы связи (Шустер, 1983). Так же рассмотрены работы по изучению акустических сигналов жесткокрылых европейскими авторами (Харви и др., 2011; Барберо, 2009; Томас, Шонрогге и др., 2005; Леноир, 1982).

### 2. Материалы и методы

Сбор материала производился летом 2015 года на территории природного парка «Кумысная поляна», в окрестностях города Саратова. Методом ручного сбора отбирались жуки и муравьи из 20 муравейников разных популяций. Из каждого муравейника собирались в ходе разлёта: 1 матка, 4-5 рабочих особей, 4-5 солдат, 7 особей жуков. Насекомые помещались в инкубатор и после размножения колонии расселялись в 7 формикариев, где один из них был контрольный.

Для записи звуков использовалась система активного шумоподавления собственной сборки, состоящая из 2 микрофонов, двухканального сверхмалошумящего усилителя звуковой частоты, внешнего автономного источника электрического тока (аккумулятора) и ноутбука с предустановленным программным обеспечением для записи и обработки звука. Для исключения из записи окружающих шумов была использована схема активного шумоподавления (англ. active noise reduction). Она состоит из 2 микрофонов. Один из них помещается в пробирку (левый канал), другой за стенку пробирки (правый канал).

Запись проводилась в течение двух месяцев (август-сентябрь), вечером, при комнатной температуре и естественном освещении. Для записи, каждый экземпляр помещался в пробирку, производилась запись в течение 3 минут. После получения записей, проводилась их очистка. Записи сохранялись в формате \*.WAV. Затем выбирались наилучшие образцы, и из каждого формикария по кастам выбирались муравьи. Поочередно включались сигналы каждой касты и наблюдалась дальнейшая реакция отдельных особей. После этого включались различные звуки мирмекофильных жесткокрылых и также фиксировалась реакция муравьёв.

## **2.1 Математическая обработка данных.**

В данной работе решаются задачи кластеризации и классификации.

Кластеризация (или автоматическая классификация) — это задача разбиения множества объектов на классы, называемые кластерами.

Задача классификации – это задача, в которой имеется множество объектов, разделённых некоторым образом на классы. Классифицировать объект – значит, указать номер (или наименование) класса, к которому относится данный объект.

В нашей задаче перечень и количество классов изначально не известно, обучающей выборки с правильными ответами нет. В нашем случае объектами являются записи звуковых сигналов, а классами - команды, которые они означают.

Для звуковых сигналов значимыми и независимыми между собой характеристиками являются доминирующая частота, средняя амплитуда и продолжительность. При этом продолжительность является значительно менее значимой характеристикой, чем амплитуда, а амплитуда менее значимой характеристикой, чем частота. Поэтому мы можем сократить размерность пространства до 2, оставив только частоту и амплитуду.

Далее для каждого объекта составляется вектор из этих характеристик. Координатами этого вектора являются характеристики (в нашем случае доминирующая частота и средняя амплитуда), а размерность вектора равна размерности пространства (в нашем случае 2). В данной работе в качестве метрики использован квадрат евклидова расстояния для того, чтобы придать больший вес более отдаленным друг от друга объектам.

Множество всех таких векторов может быть изображено графически в виде множества точек плоскости. В качестве плоскости выступает 2-мерное пространство, одним измерением которого является одна характеристика – доминирующая частота в герцах – ось абсцисс, а другим измерением – другая характеристика – средняя амплитуда в децибелах – ось ординат. В качестве координат точек выступают координаты соответствующих векторов. Скопления точек на плоскости и есть искомые кластеры.

Для установления взаимно однозначного соответствия между конкретными командами и конкретными кластерами было проведено 2 серии по 4 статистических эксперимента. В первой серии были задействованы муравьи солдаты. Во второй серии были задействованы рабочие муравьи. В каждом эксперименте было задействовано по 100 муравьёв, которых мы разделили на 2 группы по 50 муравьёв соответственно.

Первой группе с помощью миниатюрного динамика воспроизводились аудиозаписи, соответствующие определённой команде. Муравьи из второй группы служили контролем – им воспроизводили аудиозаписи, которые не соответствуют никаким командам (белый шум). Важно воспроизводить записи с амплитудой максимально приближенной к реальной. Цель

эксперимента – проверить гипотезу о том, что воспроизведение аудиозаписи, которой соответствует определенная команда, не оказывает никакого влияния на частоту выполнения интересующей нас команды. Для этого для каждого эксперимента строится таблица сопряженности. После этого рассчитываем и составляем таблицу сопряженности с ожидаемыми значениями. Далее необходимо сравнить таблицу сопряженности с полученными значениями с таблицей с ожидаемыми значениями. Для этого воспользуемся критерием согласия Пирсона, также известным как критерий  $\chi^2$ . Затем находим число степеней свободы, узнаём критическое значение  $\chi^2$  для уровня значимости 0,01. Сравниваем полученное нами значение, с табличным и делаем соответствующие выводы.

### **3. Результаты исследований**

В результате проведенных исследований было получено, что количество кластеров в нашем случае равно четырём. Центром первого кластера является вектор (1766 Гц; -11.5 дБ), центром второго кластера является вектор (2331 Гц; -22.05 дБ), центром третьего кластера является вектор (2939 Гц; -6.2 дБ), центром четвёртого кластера является вектор (3249 Гц; -21.15 дБ). Значение параметра R по частоте для первого кластера равно 304 Гц, по амплитуде – 5.3 дБ. Значение параметра R по частоте для второго кластера равно 174 Гц, по амплитуде – 3.15 дБ. Значение параметра R по частоте для третьего кластера равно 176 Гц, по амплитуде – 2.1 дБ. Значение параметра R по частоте для четвёртого кластера равно 126 Гц, по амплитуде – 6.35 Гц.

В результате воспроизведения образцов из каждого кластера, можно определить соотношение между конкретным кластером и конкретной командой. Записям из первого кластера соответствует команда «перенести яйца», записям из второго кластера соответствует команда «принести еду», записям из третьего кластера соответствует команда «защищать колонию», записи четвертого кластера соответствует команда «рыть новую камеру». Графическое представление кластеров изображено на рисунке 1.

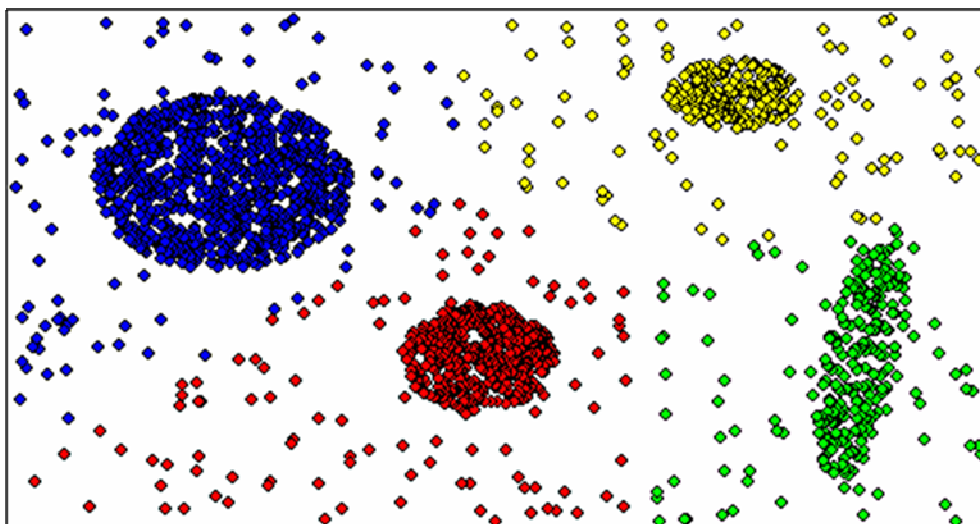


Рисунок 1 – Графическое представление объектов для кластерного анализа.

◆ – перенести яйца; ◆ – принести еду; ◆ – защищать колонию; ◆ – рыть камеру.

(Графическое представление объектов выполнено в сервисе Wolfram Alpha).

Стрекотания матки *F. rufa* соответствуют записям из первого, третьего и четвёртого кластеров. Стрекотания солдата *F. rufa* соответствуют записям из четвёртого кластера. Стрекотания рабочего *F. rufa* соответствуют записям из второго и третьего кластеров. Стрекотания мирмекофильного жесткокрылого *S. hellwigii* соответствуют записям из всех четырёх кластеров.

Этот факт свидетельствует о том, что данный представитель мирмекофильных жесткокрылых может подражать всем кастам муравьёв. Эта способность была приобретена в результате эволюционного развития, так как увеличивает шансы на выживаемость в муравейнике.

Для извлечения значений характеристик из записей звуковых сигналов использовался инструмент «Статистика» (Statistics) в программе Sony Sound Forge.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучения в области биоакустики мирмекофильных жесткокрылых и муравьёв начали проводиться относительно недавно. Настоящее исследование является одним из первых в России, в котором объясняется роль акустического канала при взаимодействии муравьёв *F. rufa* и мирмекофильных жесткокрылых *S. hellwigii*. Было установлено, что звуковые сигналы действуют «независимо» от химических сигналов или превосходят их по характеру и направленности деятельности. Выполнялись такие сложнейшие задачи как: создание и поддержание оптимальных условий для существования колонии муравьёв и мирмекофильных жесткокрылых; конструирование устройства для записи интересующих звуков; выбор программного обеспечения для обработки звука; выбор методов очистки шумов из интересующих записей; непосредственное проведение эксперимента; математическая обработка данных.

Задача математической обработки была решена с помощью такого перспективного направления анализа данных как кластерный анализ. Это математическая дисциплина, использующая разделы математической статистики, теории вероятностей, дискретного анализа и искусственного интеллекта, которая позволяет извлекать знания из данных и находить в массивах данных изначально неизвестные взаимосвязи и закономерности.

Эксперименты по наблюдению за реакцией муравьёв на своих сородичей и мирмекофильных жесткокрылых были статистически обоснованы с помощью критерия согласия Пирсона.

### **Выводы:**

1. Общение мирмекофильных жесткокрылых и муравьёв происходит не только химически, но и с помощью звуковых сигналов;
2. Мирмекофилы с помощью звука подражают всем кастам муравьёв;

3. Муравьи выполняют различные команды *Scydmaenus helwigii* (перенести яйца, принести пищу и т.д.);

4. Для каждого отдельного формикария со своей семьёй (отдельные касты) наблюдается свой диапазон издаваемых звуков.

5. С помощью кластерного анализа было выявлено четыре кластера, каждому из которых соответствует своя команда.

6. Для каждой команды были определены специфические диапазоны доминирующих частот и диапазоны средних амплитуд (значения параметров R).

Зная центры каждого кластера и значения параметров R, теоретически можно построить классификатор, то есть алгоритм, который может быть реализован программно, на вход которого будут подаваться значения характеристик, извлеченных из записей акустических сигналов, а на выходе будет выдаваться ответ, к какому кластеру принадлежат данные значения характеристик, то есть по сути, можно написать программу, которая будет расшифровывать команды, зашифрованные в стрекотаниях муравьёв и мирмекофильных жесткокрылых.