

УДК 595.7:574.3

Влияние электромагнитного излучения ЛЭП на морфометрические показатели жужелицы *Poecilus cupreus* (L.) (Coleoptera, Carabidae)

Короткова А. А., Дубинин М. С.

Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого
Тула, Россия
korotkova123@mail.ru; dubinin91@yandex.ru

Изучены морфометрические показатели *Poecilus cupreus* (L.) в зоне действия линий электропередач (ЛЭП) и на контрольной территории. Установлено, что вариабельность изученных морфометрических показателей жужелиц на участках ЛЭП и контрольной территории невысока. Коэффициент вариации (V) лежит в интервале от 6,5 до 13,5 %. Наиболее изменчивыми признаками являются «длина головы» (V=13,5 %) и «расстояние между глазами» (V=11,4 %). В пунктах с высокими показателями электрического и магнитного полей морфометрические показатели *P. cupreus* имеют либо меньшие величины, либо более узкий диапазон значений. Жуки с участка ЛЭП вблизи завода, несмотря на более низкие показатели электрического и магнитного полей, также имеют аналогичные отклонения. Статистическая обработка полученных данных показала достоверность отличий метрических показателей морфологических признаков у жужелиц с разных территорий. Установлена зависимость от места обитания жуков таких признаков как «длина тела», «длина надкрылий», «длина переднеспинки» и «расстояние между глазами». Апостериорные сравнения (критерий Тьюки) однородных выборок показали, что наиболее значимые отличия особей, обитающих в зонах действия ЛЭП, от особей с контрольной территории, касаются таких морфологических признаков как «длина переднеспинки» и «расстояние между глазами».

Ключевые слова: жужелицы, *Poecilus cupreus*, морфометрические показатели, ЛЭП, влияние электромагнитное излучение.

ВВЕДЕНИЕ

Размерные показатели тела насекомого являются значимыми признаками, отражающими как особенности онтогенеза самого организма, так и влияние средовых факторов. Разнообразие и взаимодействие существующих экологических факторов, в том числе и антропогенного, способствуют формированию специфических вариантов морфометрической структуры популяций насекомых в различных экосистемах. В определенной степени этот факт можно использовать как индикатор состояния среды. Среди насекомых хорошие биоиндикаторные свойства присущи жужелицам (Coleoptera, Carabidae), обладающим большим видовым разнообразием, большой численностью и представленностью в биоценозах, а также высокой чувствительностью к различного рода воздействиям. Влияние антропогенных факторов на размеры жужелиц многими авторами трактуется как неоднозначное (Weller, Ganzhorn, 2004; Lagisz, 2008; Суходольская, Савельев, 2014). Однако антропогенные факторы неоднородны и включают в себя и влияние урбанизации, и вырубку древесной растительности, и техногенные воздействия, и тому подобное. Одной из разновидностей этих факторов в техногенном варианте, несомненно, является воздействие электрического и магнитного полей линий электропередач (ЛЭП). В большинстве известных работ описывается влияние электромагнитного излучения (ЭМИ) ЛЭП на поведенческие и физиологические характеристики насекомых. Это проявляется в потере ориентации в пространстве (Аникин, Шляхтин, 2000; Balmori, 2015), уменьшении летной активности (Shepherd, 2018; Biasotto, Kindel, 2018). Помимо этого, вблизи линий электропередач наблюдается усиление агрессии у насекомых (Антонов и др., 2016; Shepherd, 2019), а также изменение суточной миграционной активности, например, зеленых кузнечиков в зависимости от напряженности линии электропередач и показателей электрического поля (Еськов, Карев, 2009). Электромагнитное излучение вблизи ЛЭП может оказывать влияние на численность

насекомых. Так, наблюдалось снижение численного обилия Hemiptera, Coleoptera, Diptera вблизи линий электропередач по сравнению с контрольной территорией, которая располагалась на расстоянии 30–50 м от ЛЭП (Гордиенко, 2017). Электромагнитное излучение может оказывать влияние на развитие насекомых. В лабораторных условиях выявлено снижение двигательной активности у саранчевых и торможение ориентировочной реакции мучного хрущака под воздействием электромагнитного излучения (Шейман, Шкутин, 2003; Шейман, Крещенко, 2009; Wyszowska, 2016), а также отмечалось увеличение периода жизненного цикла бобового долгоносика *Callosobruchus chinensis* (L.) и снижение продолжительности жизни имаго (Maharjan, 2019). Для сообществ жужелиц в районе линий электропередач выявлено изменение видового состава из-за вырубок (Лакотко, Сушко, 2021).

Информации о влиянии электромагнитного излучения ЛЭП на морфометрические показатели жужелиц обнаружить не удалось. Однако в целом изучению морфометрии жужелиц посвящено немало исследований, в том числе и выявлению влияния антропогенных факторов на изменчивость морфометрических показателей представителей карабидофауны. Так, установлено уменьшение размеров длины надкрылий *Pterostichus oblongopunctatus* (F.) при увеличении уровня тяжелых металлов в почве (Lagisz, 2008). В лабораторных условиях кормление жужелиц вида *Poecilus cupreus* (L.) на протяжении всей жизни куколками комнатных мух, загрязненными кадмием и цинком, привело к значительному снижению размера надкрылий, голени и задней части бедра (Maryanski et al., 2002). Представители семейства Carabidae накапливают в своем организме тяжелые металлы (Skaldina, Sorvari, 2019; Tózsér et al., 2019). Морфометрические показатели жужелиц изменяются вблизи промышленных объектов – металлургического завода и нефтепровода, а также вблизи автодорог (Бутовский 2001; Бельская, Золоторев, 2017; Суходольская и др., 2018). Использование пестицидов в сельском хозяйстве также приводит к уменьшению размеров их тела (Blake et al., 1994, 1996). Доказано влияние урбанизации на размеры тела и на отдельные морфометрические показатели *Abax parallelepipedus* (Piller), *Carabus scheidleri* (Panzer), *Carabus violaceus* (L.), *Carabus nemoralis* (Müller.), *P. cupreus* и *P. oblongopunctatus* такие как длина надкрылий, нижнегубной щупик, нижнечелюстной щупик, антенны, длина голени и длина бедра (Weller, 2004; Magura et al., 2006; Суходольская и др., 2017; Саяхова, Суходольская, 2018; Papp et al., 2020). Установлена зависимость размеров *Carabus granulatus* (L.) от характера биотопа, места обитания в ареале, степени антропогенного воздействия (Суходольская, Савельев, 2014).

Ранее нами была рассмотрена морфологическая структура *C. granulatus* вблизи ЛЭП с напряжением 750 и 220кВ в лесных экосистемах. Отмечено небольшое увеличение величины метрических показателей вблизи маршрутов с высокими показателями электрического и магнитного полей (Короткова, Дубинин, 2017).

Цель данного исследования – изучить влияние электромагнитного излучения линий электропередач на морфометрические показатели жужелицы *Poecilus cupreus* (Coleoptera, Carabidae).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – жужелица *P. cupreus* (Coleoptera, Carabidae). Длина тела 10,5–14 мм. Плечевой зубчик надкрылий неявственный. Голова и основание переднеспинки в ясных точках. Надкрылья несколько шире основания переднеспинки. Верх медно-красный, бронзовый, зеленый или черный с зеленым блеском, редко синий. Низ и ноги чёрные, бедра иногда красные. Первый и второй членики усиков красные или рыжие. *P. cupreus* – палеарктический вид, распространенный практически во всех странах Европы и во многих странах Азии, в европейской части России, в Западной и Восточной Сибири (Löbl, 2003). Это лугово-полевой мезофильный вид, который относится к группе зоофагов. По известной классификации жизненных форм *P. cupreus* относится к подстильно-почвенным зарывающимся стратобионтам (Шарова, 1981).

Сбор жуков проводился на территории трех линий электропередач, а также на контрольном участке в пределах Тульской области (табл. 1). Первый модельный участок выделен в зоне действия ЛЭП с напряжением 750кВ. Второй участок определен на территории линий электропередач с напряжением 220кВ. Оба участка расположены вдали от крупных автомагистралей, застроек и предприятий. Третий модельный участок определен вблизи ЛЭП с напряжением 220кВ на территории санитарно-защитной зоны металлургического завода. Это одно из ведущих предприятий в своей отрасли в Тульской области, основная деятельность которого производство чугуна и ферромарганца. Выплавка последнего позволяет отнести завод к первому классу опасности согласно официальной классификации предприятий (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, 2007). Территории всех трех модельных участков расположены в луговых экосистемах и имеют идентичный фитоценоз, характерный для региона исследования.

Таблица 1

Характеристики модельных участков

Модельный участок	Показатели электрического и магнитного полей				
	Напряжение электросети (кВ)	Средняя напряженность электрического поля (В/м)	Интервал значений напряженности электрического поля (В/м)	Средняя напряженность магнитного поля (А/м)	Интервал значений напряженности магнитного поля (А/м)
1. ЛЭП-750	750	2312	635–3550	2,48	0,72–3,5
2. ЛЭП-220	220	768	196–1139	0,53	0,2–0,66
3. ЛЭП-220 завод	220	765	198–1131	0,52	0,24–0,67
4. Контрольная территория	0	0	0	0	0

Помимо вышеописанных мест исследования был выделен контрольный участок. С помощью измерителя напряженности поля ПК-50 определено, что величины электрического и магнитного полей промышленной частоты равны нулю уже на удалении 200 метров от центра ЛЭП с напряжением 750кВ и на расстоянии 100 метров у ЛЭП с напряжением 220кВ. Контрольная территория установлена на расстоянии 3,3 км от ближайших линий электропередач для исключения вероятности попадания жуков в зону действия линий электропередач и удалена более чем на 4 км от других антропогенных источников.

Имаго собирались в период с апреля по сентябрь в 2014–2016 и 2019 годах с помощью стандартной методики с использованием почвенных ловушек Барбера. В качестве последних применялись стеклянные емкости объемом 0,5 л, вкопанные вровень с поверхностью почвы и заполненные на треть 4 % раствором формалина. Ловушки устанавливались в линию по 10 штук через 2,5 м и снимались каждые 10 суток. В течение сезона снималось 3240 ловушек Барбера. Всего же обработано 12960 ловушек.

Всего в ходе исследования было собранно 297 экземпляров жужелиц *P. cupreus* (табл. 2).

Согласно центральной предельной теореме, сумма большого количества независимых случайных величин имеет распределение близкое к нормальному. В соответствии с законом распределения Стьюдента в выборках, объем которых превышает 30 единиц, величина t распределяется нормально и приближена к таковой в генеральной совокупности. Следовательно, выборки объемом $N \geq 30$ являются статистически достоверными и могут быть использованы для статистического анализа (Лакин, 1990).

Таблица 2

Объем выборки *Poecilus cupreus* на модельных участках

Модельный участок	Экземпляры, шт.
ЛЭП-750	81
ЛЭП-220	75
ЛЭП-220 завод	65
Контрольная территория	76

В ходе камеральной обработки произведены замеры всех особей по следующим параметрам: длина надкрылий – расстояние по шву от середины бортика до вершины надкрылий (1), ширина левого надкрылья, ширина правого надкрылья – расстояние между плечевыми углами надкрылий (2, 3), длина переднеспинки – расстояние по средней линии от основания до вершины (4), ширина переднеспинки – ширина основания (5), длина головы – расстояние от шеи до верхней губы (6), расстояние между глазами (7). Общую длину тела вычисляли путем суммирования мерных признаков 1, 4 и 6 (рис. 1). Измерения морфометрических параметров проводились при помощи бинокулярного микроскопа МБС-9 с микрометрической шкалой в окуляре (цена деления 0,1 мм) по общепринятой методике (Гринько, 2002; Тимофеева, 2010; Суходольская и др., 2018, 2020).

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica 10.0. Был проведен однофакторный дисперсионный анализ, основная задача которого поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях. В качестве методов дисперсионного анализа использовались: критерий однородности Левена (Levene's Test), критерий Фишера (F), критерий множественного сравнения Тьюки (Tukey's HSD test).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

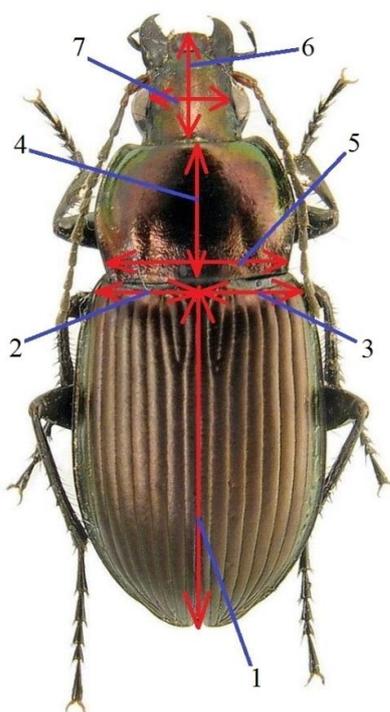
Результаты индивидуального обмера жуков вида *P. cupreus* на исследуемых территориях представлены в таблице 3. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что наиболее изменчивыми являются параметры головы *P. cupreus* – ее длина и расстояние между глазами. Коэффициент их вариации составляет 13,5 % и 11,4 % соответственно.

Размеры головы колеблются в интервале от 1,5 до 2,8 мм при средней величине 1,9 мм. Наибольшие средние размеры длины головы отмечены на контрольной территории и в зоне действия ЛЭП-220 – 2,0 мм. В районе ЛЭП-750, где показатели электрического и магнитного полей значительно выше, а также вблизи ЛЭП-220 вблизи металлургического предприятия средняя длина головы меньше и равняется 1,8 и 1,9 мм соответственно. На этих же участках выявлены минимальные размеры описываемого параметра, а максимальные – на контрольной территории и в районе ЛЭП-220. Таким образом, нельзя исключать снижения размеров признака вследствие воздействия электромагнитного излучения ЛЭП и присоединяющегося на одном из модельных участков воздействия выбросов промышленного предприятия.

Аналогичные тенденции проявляет и признак «расстояние между глазами». Так, минимальные средние размеры (1,5 мм) отмечены на участке ЛЭП-750 и ЛЭП-220_завод, максимальные – на территориях с меньшим воздействием ЭМИ или с полным его отсутствием.

Остальные морфологические признаки *P. cupreus*, в том числе и общая длина тела, изменяются гораздо меньше. Коэффициенты вариации составляют 6,5–7,5 %, что говорит о незначительной вариабельности признака (Лакин, 1990). Распределение средних значений признаков *P. cupreus* по модельным участкам аналогично.

В районах с высокой техногенной нагрузкой (ЛЭП-750 и ЛЭП-220_завод) в половине случаев средние значения морфометрических показателей снижены по сравнению с участком ЛЭП-220 и контрольной территорией. Это отмечено для признаков «длина тела», «длина

Рис. 1. Исследованные морфологические признаки *Poecilus cupreus*

1 – длина надкрылий; 2 – ширина левого надкрылья в основании; 3 – ширина правого надкрылья в основании; 4 – длина переднеспинки; 5 – ширина переднеспинки в основании; 6 – длина головы; 7 – расстояние между глазами.

Таблица 3

Размеры и вариабельность морфометрических показателей *Poecilus cupreus* в зонах действия ЛЭП и на контрольной территории

Признак	Значение признака на участке ЛЭП-750, мм	Значение признака на участке ЛЭП-220, мм	Значение признака на участке ЛЭП-220_завод, мм	Значение признака на контрольной территории, мм	Коэффициент вариации, %
Длина тела	$\frac{10,5 - 13,3}{11,6}$	$\frac{10,5 - 13,5}{11,8}$	$\frac{10,5 - 13,3}{11,5}$	$\frac{10,5 - 13,0}{11,7}$	6,6
Длина надкрылий	$\frac{6,5 - 8,2}{7,2}$	$\frac{6,5 - 8,3}{7,2}$	$\frac{6,5 - 8,2}{7,1}$	$\frac{6,7 - 8,5}{7,4}$	6,5
Ширина левого надкрылья	$\frac{1,6 - 1,9}{1,7}$	$\frac{1,6 - 2,1}{1,8}$	$\frac{1,6 - 1,9}{1,7}$	$\frac{1,6 - 2,0}{1,7}$	6,6
Ширина правого надкрылья	$\frac{1,6 - 1,9}{1,7}$	$\frac{1,6 - 2,1}{1,8}$	$\frac{1,6 - 1,9}{1,7}$	$\frac{1,6 - 2,0}{1,7}$	6,6
Длина переднеспинки	$\frac{2,1 - 2,9}{2,4}$	$\frac{2,2 - 2,7}{2,5}$	$\frac{2,1 - 2,9}{2,4}$	$\frac{2,2 - 2,8}{2,5}$	6,6
Ширина переднеспинки	$\frac{2,8 - 3,7}{3,3}$	$\frac{2,9 - 3,8}{3,2}$	$\frac{2,7 - 3,6}{3,3}$	$\frac{2,8 - 3,9}{3,2}$	7,6
Длина головы	$\frac{1,5 - 2,3}{1,9}$	$\frac{1,6 - 2,6}{2,0}$	$\frac{1,5 - 2,1}{1,8}$	$\frac{1,5 - 2,8}{2,0}$	13,5
Расстояние между глазами	$\frac{1,2 - 1,7}{1,5}$	$\frac{1,4 - 1,9}{1,6}$	$\frac{1,2 - 1,7}{1,5}$	$\frac{1,2 - 2,0}{1,6}$	11,4

переднеспинки», «длина головы» и «расстояние между глазами». На первый взгляд результаты измерений остальных параметров выпадают из общей закономерности. Однако можно заметить, что у жуков с контрольной территории и вблизи ЛЭП-220 отмечены максимальные абсолютные значения признаков «ширина переднеспинки», «длина надкрылий», «ширина левого надкрылья» и «ширина правого надкрылья» по сравнению с особями, обитающих в зоне действия ЛЭП-750 и ЛЭП-220 вблизи завода. Для последних трех признаков также характерен более широкий диапазон значений у жужелиц с контрольной территории и с участка ЛЭП-220.

В ходе однофакторного дисперсионного анализа было установлено, что дисперсии выборки *P. cupreus* в зоне действия исследуемых ЛЭП и на контрольной территории по большинству морфометрических параметров однородны. Это подтверждается критерием однородности Левена (Levene's Test) (табл. 4). Данный показатель позволяет установить, что взятые выборки являются частью одного распределения. Равенство дисперсий является необходимым условием для дальнейшего применения дисперсионного анализа.

В результате гомогенными являются выборки жуков по длине тела, длине надкрылий, ширине левого надкрылья, ширине правого надкрылья, длине переднеспинки и расстоянию между глазами.

Таблица 4

Критерий однородности дисперсий Левена (Levene's Test) показателей морфологических признаков *Poecilus cupreus* в зонах действия ЛЭП и на контрольной территории

	MS эффект	MS ошибка	F	P
Длина тела	0,205622	0,160069	1,28459	0,280021
Длина надкрылий	0,098858	0,064131	1,54149	0,204095
Ширина левого надкрылья	0,010199	0,006065	1,68166	0,171258
Ширина правого надкрылья	0,010199	0,006065	1,68166	0,171258
Длина переднеспинки	0,015319	0,008407	1,82214	0,143411
Ширина переднеспинки	0,100395	0,017029	5,89554	0,000655
Длина головы	0,205581	0,018455	11,13950	0,000001
Расстояние между глазами	0,016744	0,06558	2,55336	0,055869

Для параметров «ширина переднеспинки» и «длина головы» критерий однородности статистически не значим ($p < 0,05$). Следовательно, можно сделать вывод о неравенстве средних значений морфометрических показателей на разных территориях. К дальнейшей статистической обработке методами дисперсионного анализа эти параметры не могут быть использованы в связи с невозможностью принятия нулевой гипотезы (гомогенность дисперсий).

Таким образом, имеющаяся выборка не является гомогенной, и сравнивать все параметры не представляется возможным. Неоднородность дисперсий выборок для признаков «ширина переднеспинки» и «длина головы» может быть обусловлена в большой разнице в значениях морфологических признаков и, соответственно, особи на модельных участках и на контрольной территории имеют отличия в средних размерах.

Исключая признаки «ширина переднеспинки» и «длина головы» данная выборка является однородной, что дает возможность получить значение критерия Фишера (F) и выделить его уровень значимости. Это в свою очередь покажет наличие или отсутствие зависимости размеров морфометрических параметров от места обитания жуков. Результаты, представленные в таблице 5, позволяют определить критерий Фишера как значимый для морфометрических параметров «длина тела», «длина надкрылий», «длина переднеспинки» и

Таблица 5

Критерий Фишера (F-test) для шести морфологических признаков *Poecilus cupreus* в зонах действия ЛЭП и на контрольной территории

Признак	Сум. квад. эффект	Ст. св. эффект	Ср. квад. эффект	Сум. квад. ошибки	Ст. св. ошибки	Ср. квад. ошибки	F	P
Длина тела	5,532225	3	1,844075	171,9044	293	0,586704	3,14311	0,02559
Длина надкрылий	2,128620	3	0,709540	64,2442	293	0,219263	3,23602	0,02263
Ширина левого надкрылья	0,080129	3	0,026710	5,2987	293	0,018084	1,47696	0,22090
Ширина правого надкрылья	0,080129	3	0,026710	5,2987	293	0,018084	1,47696	0,22090
Длина передне-спинки	0,401513	3	0,133838	7,6840	293	0,026225	5,10339	0,00186
Расстояние между глазами	1,762999	3	0,587666	6,9904	293	0,023858	24,63181	0,00000

Примечание к таблице. F – критерий Фишера; P – уровень значимости.

«расстояние между глазами» ($p < 0,05$). Следовательно, результаты дают возможность отклонить нулевую гипотезу и сделать вывод, что отличия в размерах вышеназванных признаков у жукелиц напрямую связаны с их местом обитания.

Для обнаружения статистически значимых различий внутри однородных выборок выполнены апостериорные сравнения с использованием критерия множественного сравнения Тьюки (Tukey's HSD test). Такой метод представляет собой попарные сравнения изучаемых групп для выявления различий между ними. Критерий Тьюки достаточно объективен и хорош тем, что исключает появление ошибки 1 типа, когда неверно отвергается нулевая гипотеза. За исключением вышеописанных случаев выявления неоднородности (этап 1 – критерий Левена) и невозможности отклонения нулевой гипотезы (этап 2 – критерий Фишера), полученные результаты позволяют применить критерий множественного сравнения Тьюки HSD. Поскольку выборки жуков на исследуемых территориях были не равными по объему, мы использовали скорректированный критерий Тьюки (для неравных N).

В результате попарных сравнений выявлены статистически значимые различия у жукелиц по морфометрическим параметрам «длина надкрылий», «длина переднеспинки» и «расстояние между глазами» (табл. 6).

Длина переднеспинки у жуков со всех участков ЛЭП, в том числе и вблизи металлургического завода отличается от жукелиц с контрольной территории. Такие же результаты отмечены для признака «расстояние между глазами». Кроме того для этого параметра выделены различия между жуками найденными в зоне действия ЛЭП-220 и насекомыми с территории ЛЭП-750 и ЛЭП-220_завод. Последние два участка различий по данному признаку не имеют. Следовательно, особи *P. cupreus* достаточно схожи по признаку «расстояние между глазами» с этих модельных участков и сильно отличаются от обитающих вблизи ЛЭП-220 и на контрольной территории. Длина надкрылий жуков с контрольного маршрута отличаются от особей с территории ЛЭП-220_завод. Статистически достоверных отличий по длине тела *P. cupreus* на исследуемых участках не обнаружено.

Таблица 6

Критерий множественного сравнения Тьюки (Tukey's HSD test) для разных морфометрических параметров *Poecilus cupreus*

Длина тела

Пункт	ЛЭП-750	ЛЭП-220	ЛЭП-220_завод	Контрольная территория
Л ЛЭП-750		0,340064	0,885095	0,244628
Л ЛЭП-220			0,101737	0,997919
Л ЛЭП-220 завод				0,067712
Контрольная территория				

Длина надкрылий

Пункт	ЛЭП-750	ЛЭП-220	ЛЭП-220_завод	Контрольная территория
ЛЭП-750		1,000000	0,712794	0,189065
ЛЭП-220			0,715330	0,192341
ЛЭП-220_завод				0,019032
Контрольная территория				

Длина переднеспинки

Пункт	ЛЭП-750	ЛЭП-220	ЛЭП-220_завод	Контрольная территория
ЛЭП-750		0,999742	0,961034	0,004295
ЛЭП-220			0,977078	0,006320
ЛЭП-220_завод				0,043750
Контрольная территория				

Расстояние между глазами

Пункт	ЛЭП-750	ЛЭП-220	ЛЭП-220_завод	Контрольная территория
ЛЭП-750		0,000008	0,869378	0,006622
ЛЭП-220			0,000008	0,000952
ЛЭП-220_завод				0,000990
Контрольная территория				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пунктах исследований с высокими показателями электрического и магнитного полей (территории под ЛЭП) жуки *P. cupreus* имеют либо меньшие размеры, либо более узкий диапазон значений морфометрических показателей. Аналогичная тенденция наблюдается на территории ЛЭП вблизи металлургического завода. Полученные результаты согласуются с ранее полученными данными других авторов (Бутовский, 2001; Бельская, Золоторев, 2017).

Статистическая обработка полученных данных методами дисперсионного анализа показала, что уже на этапе определения однородности выборки отмечена ее гетерогенность. С помощью критерия Фишера установлена зависимость величины ряда морфометрических показателей жуков от места обитания. К таковым относятся следующие параметры: «длина тела», «длина надкрылий», «длина переднеспинки» и «расстояние между глазами».

Апостериорные сравнения однородных выборок показали, что наибольшие отличия особей, обитающих в зоне действия ЛЭП (в том числе и вблизи металлургического

комбината) от особей с контрольной территории проявляются в таких морфологических признаках как «длина переднеспинки» и «расстояние между глазами».

Таким образом, исследуемые выборки жувелиц *P. cupreus* статистически достоверно отличаются по морфометрическим показателям. Поскольку и на модельных участках, и на контрольной территории одинаковые природные условия (рельеф местности, механический состав и тип почвы, фитоценоз), очевидно, что различия эти обусловлены влиянием антропогенных факторов. На территориях ЛЭП-750 и ЛЭП-220 к таковым относится электромагнитное излучение линий электропередач. В зоне ЛЭП-220 вблизи металлургического завода присоединяется воздействие выбросов промышленного предприятия. В частности, ранее вблизи него отмечены повышенные концентрации тяжелых металлов в почве (Бутовский, 2001). В обоих случаях антропогенное (техногенное) воздействие негативно влияет на морфометрические показатели жувелиц *P. cupreus*, снижая их.

Список литературы

- Аникин В. В., Шляхтин Г. В. Обследование состояния энтомофауны в зоне влияния ЛЭП-500 // Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения: материалы науч.-практич. конф. – Саратов: Изд-во СГУ, 2000. – С. 3–6.
- Антонов В. И., Ларетин Н. А., Волкова Т. И. Эффективность опыления пчёлами клевера лугового // Кормопроизводство. – 2016. – № 4. – С. 34–38.
- Бельская Е. А., Золоторев М. П. Изменение размерной структуры сообществ жувелиц при техногенной трансформации лесных экосистем // Экология. – 2017. – № 2. – С. 107–115.
- Бутовский Р. О. Устойчивость комплексов почвообитающих членистоногих к антропогенным воздействиям: дис. ... д-ра биол. наук: спец. 03.00.16 Экология. – Москва: Московская сельскохозяйственная Академия имени К. А. Тимирязева, 2001. – 401 с.
- Гринько Р. А. Динамика экологической структуры популяций жувелиц зональных и интразональных экосистем при разной степени их изоляции: дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16 Экология. – Казань: Институт экологии природных систем Академии наук Республики Татарстан, 2002. – 179 с.
- Гордиенко Т. А. Влияние антропогенной трансформации луговых экосистем национального парка «Нижняя Кама» на сообщества наземных и почвенных беспозвоночных // Российский журнал прикладной экологии. – 2017. – № 3. – С. 7–11.
- Еськов Е. К., Карев В. А. Фауна просек высоковольтных линий электропередач // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – № 1. – С. 127–132.
- Короткова А. А., Дубинин М. С. Морфометрическая структура микропопуляций *Carabus granulatus* L. в районах линий электропередач в Тульской области // Вестник ВГУ. Сер. «Химия, Биология, Фармация». – 2017. – № 3. – С. 58–61.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: «Высшая школа», 1990. – 351 с.
- Лакотко А. А., Сушко Г. Г. Вырубки под линии электропередач в сосновых лесах Белорусского Поозерья – как места обитания жувелиц (Coleoptera, Carabidae) // Журнал Белорусского государственного университета. Экология – 2021. – № 1. – С. 15–28.
- Приложение. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (новая редакция) [Электронный ресурс]. – Информационно-правовой портал Гарант.ру. – 2008. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12158477/b89690251be5277812a78962f6302560/#friends> (просмотрено 01.12.2022).
- Саяхова Г. Р., Суходольская Р. А. Изменчивость размеров и структуры популяций жувелицы *Pterostichus niger* (Coleoptera, Carabidae) в г. Уфе // Экология городской среды: история, современность и перспективы. – 2018. – С. – 57–60
- Суходольская Р. А., Савельев А. А. Влияние экологических факторов на размерные признаки жувелицы *Carabus granulatus* L. (Coleoptera, Carabidae) // Экология. – 2014. – № 5. – С. 369–369.
- Суходольская Р. А., Савельев А. А., Шамаев Д. Е. Влияние факторов среды на изменчивость размеров жувелицы *Pterostichus niger* L. (Coleoptera, Carabidae) // Принципы экологии. – 2017. – № 3. – С. 118–131.
- Суходольская Р. А., Гордиенко Т. А., Саяхова Г. Р., Вавилов Д. Н. Морфометрические особенности жувелицы *Harpalus rufipes* (Deg.) (Coleoptera, Carabidae) нарушенных и естественных местообитаний // Урбэкология: проблемы и перспективы развития. – 2018. – С. 170–173.
- Суходольская Р. А., Вавилов Д. Н., Гордиенко Т. А., Мухаметнабиев Т. Р. Изменчивость структуры сообществ и размеров жуков-жувелиц (Coleoptera, Carabidae) в градиенте антропогенного воздействия // Поволжский экологический журнал. – 2020. – № 1. – С. 99–114.
- Тимофеева Г. А. Морфометрическая структура популяций жувелиц (Coleoptera, Carabidae) в антропогенных ландшафтах: дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16 Экология. – Казань: ГБУ Институт экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 2010. – 169 с.
- Шарова, И. Х. Жизненные формы жувелиц (Coleoptera, Carabidae) – М.: Наука, 1981. – 360 с.

Шейман И. М., Шкутин М. Ф. Действие слабого электромагнитного излучения на развитие личинок и метаморфоз мучного хрущака *Tenebrio molitor* // Биофизика. – 2003. – Т. 48, № 1. С. 99–104.

Шейман И. М., Крещенко Н. Д. Влияние слабого электромагнитного излучения на разные формы поведения у мучного хрущака, *Tenebrio molitor* // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2009. – Т. 59, № 4. – С. 488–494.

Balmori A. Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation // Science of the Total Environment. – 2015. – Т. 518. – P. 58–60.

Biasotto L. D., Kindel A. Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review // Environmental Impact Assessment Review. – 2018. – Т. 71. – P. 110–119.

Blake S., Foster G. N., Eyre M. D., Luff M. L. Effects of habitat type and grassland management practices on the body size distribution of carabid beetles // Pedobiologia. – 1994. – Т. 38, N 6. – P. 502–512.

Blake S., Foster G. N., Fisher G. E., Ligertwood G. L. Effects of management practices on the carabid faunas of newly established wildflower meadows in southern Scotland // Annales Zoologici Fennici. – Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 1996. – P. 139–147.

Lagisz M. Changes in morphology of the ground beetle *Pterostichus oblongopunctatus* F. (Coleoptera; Carabidae) from vicinities of a zinc and lead smelter // Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal. – 2008. – Т. 27, N 8. – P. 1744–1747.

Löbl I., Smetana A. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Archostemata – Myxophaga – Adepaga // Stenstrup: Apollo Books, 2003. – Vol. 1. – 820 p.

Magura T., Tóthmérész B., Lövei G. L. Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient // Basic and Applied Ecology. – 2006. – Т. 7, N 5. – P. 472–482.

Maharjan R. Effects of radiofrequency on the development and performance of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) on three different leguminous seeds // Applied Entomology and Zoology. – 2019. – Т. 54, N 3. – P. 255–266.

Maryanski M., Kramarz P., Laskowski R., Niklinska M. Decreased energetic reserves, morphological changes and accumulation of metals in carabid beetles (*Poecilus cupreus* L.) exposed to zinc-or cadmium-contaminated food // Ecotoxicology. – 2002 – Т. 11, N 2. – P. 127–139.

Papp D., Mizser S., Nagy L., Vidic A., Simon E., Tóthmérész B. Changes in morphometric traits of ground beetles along urbanization gradients // Journal of Insect Science. – 2020. – Т. 20, N 1. – P. 5.

Shepherd S. The effects of extremely low frequency electromagnetic fields on insects. – University of Southampton, 2018. – 281 p.

Shepherd S. Increased aggression and reduced aversive learning in honey bees exposed to extremely low frequency electromagnetic fields // PloS one. – 2019. – Т. 14, N 10. – P. e0223614.

Skaldina O., Sorvari J. Ecotoxicological effects of heavy metal pollution on economically important terrestrial insects // Networking of Mutagens in Environmental Toxicology. – 2019. – P. 137–144.

Tózsér D., Magura T., Simon E., Mizser S., Papp D., Tóthmérész B. Pollution intensity-dependent metal accumulation in ground beetles: a meta-analysis // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – Т. 26, N 31. – P. 32092–32102.

Weller B., Ganzhorn J. U. Carabid beetle community composition, body size, and fluctuating asymmetry along an urban-rural gradient // Basic and Applied Ecology. – 2004. – Т. 5, N 2. – P. 193–201.

Wyszkowska J. Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts // Scientific reports. – 2016. – Т. 6. – P. 36413.

Korotkova A. A., Dubinin M. S. Influence of electromagnetic radiation of power transmission lines on morphometric characteristics of the ground beetle *Poecilus cupreus* (L.) (Coleoptera, Carabidae) // Ekosistemy. 2023. Iss. 33. P. 78–87.

The morphometric characteristics of *Poecilus cupreus* (L.) were researched in zones of action of power transmission lines and at the control plot. It was found out that the variability of the studied morphometric parameters of ground beetles near power transmission lines and the control plot is low. The coefficient of variation (V) ranges from 6.5 to 13.5 %. The most variable features are "head length" (V=13.5 %) and "distance between eyes" (V=11.4 %). In plots with high electric and magnetic fields, the morphometric parameters of *P. cupreus* have either lower values or a narrower range of values. The beetles from the power transmission line section near the plant also have similar deviations, despite lower electric and magnetic field values. Statistical processing of the obtained data showed the reliability of differences in the metric indicators of morphological characters in ground beetles from different territories. The researchers found the dependence of such features as "body length", "elytra length", "pronotum length" and "distance between eyes" on the beetles' habitat. A posteriori comparisons (Tukey's test) of homogeneous samples revealed that the most significant differences between individuals living in zones of action of power transmission lines and individuals from the control plots relate to such morphometric features as "pronotum length" and "distance between the eyes".

Key words: *Poecilus cupreus*, morphometric characteristics, power transmission lines, influence of electromagnetic radiation.

Поступила в редакцию 15.12.22
Принята к печати 02.02.23