

Обзорная статья / Review article  
УДК 599.4:595.751.2  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

## Электризационная гипотеза отсутствия вшей (Anoplura Leach, 1815) у рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779)

Егор М. Щелканов

Московский физико-технический институт, Московская область, Долгопрудный, Россия

### Контактное лицо

Егор М. Щелканов, студент Физтех-Школы биологической и медицинской физики Московского физико-технического института; 141700 Россия, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9. Тел. +79243215162  
Email [egorshchelkanov@mail.ru](mailto:egorshchelkanov@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

### Формат цитирования

Щелканов Е.М. Электризационная гипотеза отсутствия вшей (Anoplura Leach, 1815) у рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

Получена 11 декабря 2020 г.  
Прошла рецензирование 14 января 2021 г.  
Принята 19 января 2021 г.

### Резюме

**Цель** настоящей работы заключается в обосновании гипотезы о том, что отсутствие вшей у рукокрылых связано с электризацией поверхности их тела во время полета.

**Обсуждение.** В работе анализируется физический феномен электризации трением, трибоэлектрический ряд веществ с особым вниманием к объектам атмосферного электричества, правило Коэна, связывающее диэлектрические свойства вещества с его диэлектрической проницаемостью. Описаны электрические свойства атмосферы, включая возникновение разности потенциала между поверхностью Земли и ионосферой и механизм поддержания этого потенциала в результате подзарядки земной поверхности отрицательным электричеством грозами. Приведены результаты экспериментальных данных по формированию положительного электростатического заряда на поверхностных покровах насекомых и птиц. Выдвигается гипотеза о том, что шерсть и кожные перепонки рукокрылых тоже должны электризоваться положительно в процессе полета. Описываются причины, препятствующие обитанию вшей в электризованной шерсти рукокрылых. Предлагается объяснение наличия у рукокрылых развитых сальных желез как способа сброса электростатического заряда перед возвращением в убежище и раструбной структуры волосистой кутикулы как приспособления для удержания выделения потовых желез.

**Заключение.** Отсутствие вшей у рукокрылых является прямым следствием их адаптации к активному полету.

### Ключевые слова

Рукокрылые, Chiroptera, вши, Anoplura, электризация.

# Electrification hypothesis of the absence of lice (Anoplura Leach, 1815) on bats (Chiroptera Blumenbach, 1779)

**Egor M. Shchelkanov**

Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow region, Dolgoprudny, Russia

## Principal contact

Egor M. Shchelkanov, Student, Phys-Tech School of Biological and Medical Physics, Moscow Institute of Physics and Technology; 9 Institutsky Lane, Dolgoprudny, Moscow Region, Russia 141700. Tel. +79243215162

Email [egorshchelkanov@mail.ru](mailto:egorshchelkanov@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

## How to cite this article

Shchelkanov E.M. Electrification hypothesis of the absence of lice (Anoplura Leach, 1815) on bats (Chiroptera Blumenbach, 1779). *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

Received 11 December 2020

Revised 14 January 2021

Accepted 19 January 2021

## Abstract

**Aim** of this work is to substantiate the hypothesis that the absence of lice in bats is associated with the electrification of the surface of their body during the flight.

**Discussion.** The paper analyzes the physical phenomenon of friction electrification, the triboelectric series of substances with special attention to the objects of atmospheric electricity, and the Cohen rule that relates the dielectric properties of a substance to its permittivity. The electrical properties of the atmosphere are described including the occurrence of a potential difference between the Earth's surface and the ionosphere and the mechanism of maintaining this potential as a result of charging the ground with negative electricity by thunderstorms. The results of experimental data on the formation of a positive electrostatic charge on the surface covers of insects and birds are presented. It is hypothesized that the hair and skin membranes of bats should also be positively electrified during flight. The reasons that prevent lice from living in electrified bat hair are described. It is proposed to explain the presence of developed sebaceous glands in bats as a way of discharging electrostatic charge before returning to the shelter and the bell structure of the hair cuticle as a device for retaining the secretion of sweat glands.

**Conclusion.** The absence of lice in bats is a direct consequence of their adaptation to active flight.

## Key Words

Bats, Chiroptera, lice, Anoplura, electrification.

## ВВЕДЕНИЕ

Вши – представители подотряда Anoplura Leach, 1815 отряда пухоедовых (Phthiraptera Haeckel, 1896) – являются облигатными эктопаразитами плацентарных млекопитающих (*Placentalia* Owen, 1837), периодически питающимися кровью своих хозяев и постоянно проживающих в их волосном покрове [1-3]. Вши вызывают педикулёз, вторичные бактериальные заражения в местах расчёсывания кожи, снижение иммунитета и аллергические реакции, а также являются переносчиками возбудителей опасных заболеваний человека – брюшного тифа (*Salmonella enterica* Le Minor et Popoff, 1987 var. *typhi*), сыпного тифа (*Rickettsia prowazekii* da Rocha-Lima, 1916), пятнистой лихорадки Скалистых Гор (*R. rickettsi* Brumpt, 1922), возвратного тифа (*Borrelia recurrentis* Bergey et al., 1925), Волынской или окопной лихорадки (*Bartonella quintana* Schmincke, 1917) [2] – и животных, например: свиная вошь (*Haematopinus suis* L., 1758) описана как вектор для поксвируса свиней (Chitovirales: Poxviridae, *Suipoxvirus*) [4] и вируса африканской чумы свиней (Asfivirales: Asfiviridae, *Asfivirus*) [5]; лошадиная вошь (*Haemodipsus ventricosus* Denny, 1842) – возбудителя туляремии (*Francisella tularensis* Dorofeev, 1947) [4]; буйволиная вошь (*Haematopinus tuberculatus* Burmeister 1839) – анаплазмоза (*Anaplasma marginale* Theiler, 1910) [6] и т.д..

Паразитизм вшей является узкоспециализированным: каждый вид вшей паразитирует на одном или ограниченном количестве близких видов млекопитающих, хотя на данном виде млекопитающих могут паразитировать более одного вида вшей. Например, у человека (*Homo sapiens sapiens* L., 1758) встречаются два вида вшей – человеческая вошь (*Pediculus humanus* L., 1758) с двумя морфотипами (головная (*Pe. humanus capitis* De Geer, 1767) и платяная (*Pe. humanus corporis* L., 1758)) и лобковая вошь (*Phthirus pubis* L., 1758)<sup>1</sup> [2; 3]. У других высших приматов имеются свои виды этих паразитов: *Pe. schaeffi* Fahrenholz, 1910 – у шимпанзе (*Pan troglodytes* Blumenbach, 1775 и *P. paniscus* Schwarz, 1929); *Pt. gorillae* Ewing, 1927 – у горилл (*Gorilla gorilla* Savage et Wyman, 1847 и *G. beringei* Matschie, 1903) [7].

Считается, что у большинства видов плацентарных млекопитающих имеются специфические для него виды вшей. Для массовых видов млекопитающих вши хорошо известны и подробно описаны [1-4], для экзотических млекопитающих новые виды вшей продолжают открываться и в XXI веке [8-12]. Вши отсутствуют у млекопитающих, лишённых шерсти: китообразных<sup>2</sup> (Cetacea Brisson, 1762), сирен (*Sirenia* Illiger, 1811), панголинов (*Pholidota* Weber, 1904), хоботных<sup>3</sup> (*Proboscidea* Illiger, 1811), носорогов (Rhinocerotidae Gray, 1821) и гиппопотамов

(*Hippopotamus* L., 1758). Среди плацентарных млекопитающих, имеющих шерстистый покров, вши отсутствуют у неполнозубых (муравьедов и ленивцев) (*Pilosa* Flower, 1883), броненосцев<sup>4</sup> (*Cingulata* Illiger, 1811) и рукокрылых (*Chiroptera* Blumenbach, 1779). Широко известен тезис Ю.С. Балашова [13] о том, что «явно вторична утрата вшей наземными хищниками» (*Carnivora* Bowdich, 1821) – наиболее известное исключение среди них составляют псовые (Canidae Fischer G., 1817), на которых паразитируют вши из рода *Linognathus* (Enderlein, 1905). При этом водные хищники – настоящие (Phocidae Gray, 1821) и ушастые (Otariidae Gray, 1825) тюлени и моржи (Odobenidae Allen, 1880) – сохранили вшей из семейства Echinophthiriidae (Enderlein, 1904) несмотря на критические для насекомых условия обитания в морской воде [9; 14].

Простейшим объяснением отсутствия вшей у некоторых млекопитающих могло бы оказаться наличие особенностей их волосного покрова. Однако вши сумели адаптироваться к столь широкому биоразнообразию своих хозяев, на фоне которых изменение структуры волосной кутикулы не представляется критическим. Например, вши-эхинофтириды вообще развили способность прикрепляться даже к складкам и ворсинкам слизистой оболочки респираторного тракта ластоногих [9; 14]. По-видимому, объяснение отсутствия вшей следует искать в эволюции и образе жизни конкретных таксономических групп млекопитающих. В частности, данная работа посвящена обоснованию электризационной гипотезы отсутствия вшей у рукокрылых как следствия их способности к активному полёту.

## ОБСУЖДЕНИЕ

**Электризация тел трением** известно с глубокой древности – считается, что первым этот феномен описал ещё Фалес Милетский в VI веке до н.э. [15]: если потереть кусок янтаря о сухую шерсть<sup>5</sup>, то янтарь<sup>6</sup> зарядится отрицательно, а шерсть приобретет положительный заряд, проявляющийся потрескиванием и заметными в темноте искорками. Трение стекла о шелк придает первому положительный, а второму – отрицательный статический заряд. Электризованные тела способны притягивать к себе пыль, волоски шерсти, перья птиц, изменять течение струек воды и создавать множество иных эффектов, широко используемых для инициации интереса к физике на начальных этапах её изучения [16]. Много позже выясняется, что строгий физико-математический анализ уравнений электростатики для диэлектриков представляет собой нетривиальную задачу [17; 18].

Трение позволяет увеличить площадь тесного контакта между телами, несмотря на шероховатости их поверхностей. При сближении участков поверхностей до расстояния, сравнимого с характерным размером атома  $\sim 10^{-10}$  м (рис. 1) электроны могут переходить с поверхности одного тела на поверхность другого.

<sup>1</sup> Следует обратить внимание, что латинское название отряда пухоедовых пишется с четырьмя согласными в начале слова, а семейства Phthiridae Leach, 1815 и рода *Phthirus* Leach, 1815 – лишь с тремя. Это связано с опечаткой, допущенной в 1758 г. Карлом Линнеем [3]. В прошлом веке активно использовалось написание «*Phthirus pubis*», но в настоящее время используется валидное «*Phthirus pubis*».

<sup>2</sup> Так называемые «китовые вши» являются ракообразными (Crustacea Brünlich, 1772) из семейства Cyamidae Rafinesque, 1815.

<sup>3</sup> Так называемые «слоновые вши» (*Haematomyzus elephantis* Piaget, 1869), в строгом таксономическом смысле, таковыми не являются и относятся к другому подотряду пухоедовых – *Rhynchophthirina* Fahrenholz, 1936, которые имеют ротовой аппарат грызущего типа и питаются не кровью, а эпидермисом.

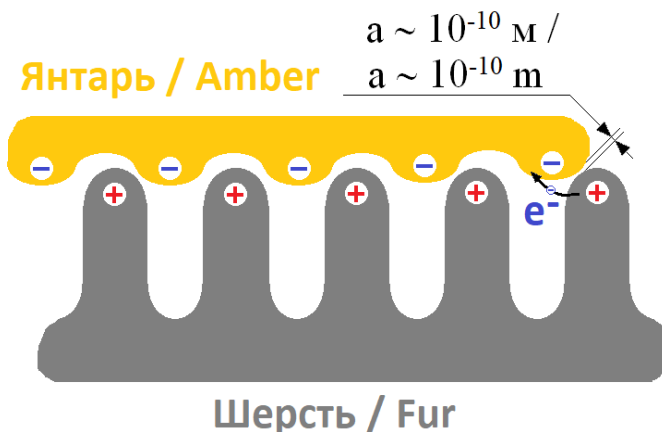
<sup>4</sup> Несмотря на то, что представители отряда броненосцев имеют дорсальный кожный панцирь, с вентральной стороны их тело покрыто шерстью.

<sup>5</sup> Аналогичный эксперимент, более доступный в современных условиях, – это потереть пластмассовую ручку о волосы на голове.

<sup>6</sup> Электрон, ἤλεκτρον, в переводе с древнегреческого означает «янтарь».

Вообще говоря, при достаточном упорстве можно электризовать трением любые тела, имеющие различное химическое строение (и даже одинаковое – если имеется различие в плотности или температуре). Однако наиболее эффективно электростатический заряд сохраняется на поверхности диэлектриков – веществ, в которых под действием электрического поля молекулы поляризуются, но электроны не переходят в

свободное состояние. В отличие от проводников, на поверхности которых свободные электроны формируют токи перетекания заряда в точках соприкосновения с другим телом, на поверхности диэлектриков сформированные трением заряды остаются в месте своего появления. В качестве электризуемых веществ могут выступать также жидкости и газы.



**Рисунок 1.** Эксперимент Фалеса Милетского: формирование электростатических зарядов при трении янтаря о шерсть

**Figure 1.** Thales of Miletus experiment: formation of electrostatic charges by rubbing amber against wool

**Трибоэлектрический<sup>7</sup> ряд** представляет собой перечень веществ, упорядоченный по возрастанию способности отнимать электроны и электризоваться отрицательно при трении о поверхности другого диэлектрика.

Автором первого опубликованного трибоэлектрического ряда стал шведский физик J.C. Wilcke [19]. Позже свои варианты предлагали и другие исследователи – наиболее известные из них представлены в табл. 1 [20-24].

**Правило Коэна**, названное в честь германского физика А. Коэна, впервые опубликовавшего его в 1898 г. [25], позволяет установить положение вещества в трибоэлектрическом ряду: вещество с большей диэлектрической проницаемостью в процессе электризации трением будет заряжаться положительно (т.е. будет являться донором электронов и в трибоэлектрических рядах, изображённых в табл. 1, находится выше).

Диэлектрическая проницаемость представляет собой безразмерный коэффициент связи векторов электрической индукции,  $D$ , и напряженности внешнего электрического поля,  $E$ :

$$\begin{aligned} D &= \epsilon \cdot E, & (1) \\ \epsilon &\geq 1 & (2) \end{aligned}$$

Значение  $\epsilon=1$  имеет место только для вакуума. Для чистого сухого воздуха  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1,0006$ , поэтому в подавляющем большинстве случаев полагают  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1$ . Атмосфера, имеющая в нижних слоях небольшое значение диэлектрической проницаемости,  $\epsilon_{\text{атм}} \approx 1,1$ , расположена, тем не менее, в верхней части трибоэлектрического ряда табл. 1 – это исключение объясняется сложным составом атмосферы (см. далее).

**Электрические свойства атмосферы** нуждаются в отдельном комментарии. Атмосфера и чистый сухой воздух находятся на противоположных концах трибоэлектрического ряда (табл. 1) вследствие наличия в атмосфере взвешенных частиц в форме пылинок и кристалликов солей (которые формируются после высыхания капель, сорванных ветром с поверхности естественных водоемов). Поскольку их диэлектрическая проницаемость очевидно больше  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1$ , то согласно правилу Коэна, они заряжаются положительно. Другим источником атмосферных ионов является естественное радиоактивное излучение земной коры, и для этого случая предсказать заранее ионный состав достаточно сложно. Однако прямые измерения показывают, что положительных ионов в атмосфере больше, чем отрицательных [17; 26].

Если предположить, что описанные выше механизмы формирования ионов в атмосфере являются единственными, то их концентрация уменьшалась бы с высотой. Однако классические эксперименты, проведенные австрийским физиком V.F. Hess в 1911-1913 гг., показали, что содержание положительных ионов растёт с высотой, и причина тому – высокоэнергетические частицы космических лучей. На высоте  $H_{\text{ион}} \approx 50$  км начинается ионосфера – сильно ионизированной космическими лучами слой атмосферы, имеющий положительный заряд. Поверхность Земли при этом заряжена отрицательно, и полная разность потенциалов между ионосферой и поверхностью планеты:  $U_{\text{ион-З}} \approx 400$  кВ [17; 18; 26]. Напряжённость электрического поля Земли у самой поверхности составляет  $E_3 \approx 130$  В/м. Зная радиус Земли ( $R_3 \approx 6371$  км), можно вычислить её площадь  $S_3$ :

$$S_3 = 4\pi R^2 \approx 5 \cdot 10^8 \text{ км}^2 \quad (3)$$

<sup>7</sup> Этимология этого термина восходит к древнегреческому слову τριβω – «натирать». Трибология – раздел физики, изучающий взаимодействие твёрдых деформируемых тел при их трении друг о друга.

**Таблица 1.** Наиболее известные трибоэлектрические ряды**Table 1.** The most well-known triboelectric series

| J.C. Wilcke<br>(1757) [19]                                                                               | P.S. Henry<br>(1953) [20]                | J.W. Ballou<br>(1954) [21]  | S.P. Hersh,<br>D.J. Montgomery,<br>(1955) [22] | G.S. Rose,<br>S.G. Ward<br>(1957) [23] | L. Loeb<br>(1958) [24]                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Положительный конец ряда (доноры электронов)* / Positive terminus of the range (donors of electrons)*    |                                          |                             |                                                |                                        |                                         |
| Стекло<br>Glass                                                                                          | Платина<br>Platinum                      | Овечья шерсть<br>Sheep wool | Овечья шерсть<br>Sheep wool                    | Этилцеллюлоза<br>Ethyl cellulose       | Атмосфера<br>Atmosphere                 |
| Волосы<br>человека<br>Human hair                                                                         | Бумага<br>Paper                          | Нейлон<br>Nylon             | Нейлон<br>Nylon                                | Казеин<br>Casein                       | Кожа<br>Skin                            |
| Овечья шерсть<br>Sheep wool                                                                              | Ацетилцеллюлоза<br>Cellulose acetate     | Шелк<br>Silk                | Вискоза<br>Viscose                             | Ацетилцеллюлоза<br>Cellulose acetate   | Кроличий мех<br>Rabbit fur              |
| Фланель<br>Flannel                                                                                       | Триацетилцеллюлоза<br>Triacetylcellulose | Вискоза<br>Viscose          | Шелк<br>Silk                                   | Стекло<br>Glass                        | Стекло<br>Glass                         |
| Слоновая кость<br>Ivory                                                                                  | Полиэтилен<br>Polyethylene               | Кожа<br>Skin                | Ацетатный шелк<br>Acetate silk                 | Сталь<br>Steel                         | Слюда<br>Mica                           |
| Перья птиц<br>Bird feathers                                                                              | Алюминий**<br>Aluminum**                 | Хлопок<br>Cotton            | Поливиниловый<br>спирт<br>Polyvinyl alcohol    | Полистирол<br>Polystyrene              | Волосы человека<br>Human hair           |
| Горный<br>хрусталь<br>Rock Crystal                                                                       | Полистирол<br>Polystyrene                | Стекло<br>Glass             | Дакрон<br>Dacron                               | Полиэтилен<br>Polyethylene             | Овечья шерсть<br>Sheep wool             |
| Шелк<br>Silk                                                                                             | Медь**<br>Cuprum**                       | Дакрон<br>Dacron            | Орлон<br>Orlon                                 | Фторопласт<br>Fluoroplastic            | Свинец**<br>Lead**                      |
| Дерево<br>Wood                                                                                           | Резина<br>Rubber                         | Орлон<br>Orlon              | Поливинилхлорид<br>Polyvinyl chloride          | Нитроцеллюлоза<br>Nitrocellulose       | Шелк<br>Silk                            |
| Янтарь<br>Amber                                                                                          |                                          | Полиэтилен<br>Polyethylene  | Полиэтилен<br>Polyethylene                     |                                        | Алюминий**<br>Aluminum**                |
|                                                                                                          |                                          | Саран<br>Saran              | Тефлон<br>Teflon                               |                                        | Бумага<br>Paper                         |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Хлопок<br>Cotton                        |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Сталь<br>Steel                          |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Дерево<br>Wood                          |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Янтарь<br>Amber                         |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Эбонит<br>Ebonite                       |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Медь**<br>Copper**                      |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Цинк**<br>Zinc**                        |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Чистый сухой<br>воздух<br>Clean dry air |
| Отрицательный конец ряда (акцепторы электронов)* / Negative terminus of the range (donors of acceptors)* |                                          |                             |                                                |                                        |                                         |

Примечание: \*Серым фоном выделены вещества, которые практически не электризуются и остаются нейтральными.

\*\*Алюминий, медь, свинец и цинк в реальных условиях покрыты оксидной плёнкой с диэлектрическими свойствами

Note: \*The gray background highlights substances that are practically not electrified and remain neutral. \*\*Aluminum, copper, lead and zinc coated with an oxide film with dielectric properties under real conditions

Произведение  $E_3 \cdot S_3$  даёт поток вектора  $E_3$  через поверхность планеты, и по теореме Гаусса можно вычислить<sup>8</sup> суммарный заряд  $Q_3$  [18, §5]:

$$E_3 \cdot S_3 = Q_3 / \epsilon_0, \quad (4)$$

где  $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная. Из (4),  $Q_3 \approx -6 \cdot 10^5$  Кл.

Благодаря атмосферным ионам (в большинстве своём – положительным), в гигантском конденсаторе планетарного масштаба (рис. 2.А) имеет место ток утечки от анода к катоду. Экспериментально установлено, что средняя плотность тока атмосферных

ионов составляет величину  $j_{атм} \approx 1$  пА/м<sup>2</sup> [18], а следовательно, характерное время  $t_p$ , через которое Земля потеряет свой заряд  $Q_3$ , оценивается из уравнения:

$$j_{атм} \cdot S_3 \cdot t_p = Q_3, \quad (5)$$

откуда  $t_p \approx 20$  мин – т.е. нейтрализация отрицательного заряда Земли током положительных атмосферных ионов должна произойти очень быстро, однако этого не происходит благодаря грозам и каплям дождя, которые постоянно поставляют на поверхность планеты отрицательные заряды: современные спутниковые данные свидетельствуют о том, что молнии на нашей планете случаются с частотой 44 сек<sup>-1</sup>, из них 75%

<sup>8</sup> Здесь и далее, формулы и вычисления соответствуют системе СИ.

происходят между грозowymi облаками, 25% достигают земной поверхности [27].

Нагретый водяной пар, поднимаясь, охлаждается и, достигает точки росы, начинает конденсироваться в капельки дистиллированной воды, обладающей хорошими диэлектрическими<sup>9</sup> свойствами:  $\epsilon_{\text{воды}} \approx 80$ . Если восходящие потоки воздуха долгое время отсутствуют, то в результате трения капелек о воздух, согласно правилу Козна, они приобретают положительный заряд и потому не могут активно сливаться друг с другом, и такие кучевые облака («облака хорошей погоды») долгое время не производят дождя (рис. 2.Б). При наличии восходящих воздушных потоков капельки воды увлекаются вверх, превращаются в кристаллики льда и скапливаются в верхней части темнеющей грозовой тучи на высоте 10–15 км, где температура опускается ниже  $-40^\circ\text{C}$ . Разрастаясь, кристаллики начинают спускаться вниз через восходящий поток капель воды. Диэлектрическая проницаемость льда  $\epsilon_{\text{льда}} \approx 73$  [27], т.е.  $\epsilon_{\text{льда}} < \epsilon_{\text{воды}}$ , поэтому спускающиеся кристаллики приобретают отрицательный заряд и, растаяв в нижней части дождево-кучевого облака на высоте  $H_{\text{обл}} \approx 1$  км, накапливают там отрицательный заряд. Кроме того, происходит дробление капель и кристалликов, в процессе чего более мелкие из них заряжаются положительно, а крупные отрицательно – это также способствует разделению зарядов и формированию потенциала  $U_{\text{обл}} \approx 1$  ГВ, представленному на рис. 2.В [17; 29].

Отрицательный заряд нижнего края грозового облака значительно превосходит отрицательный заряд Земли, поэтому в конденсаторе облако–Земля поверхность последней выступает в качестве положительной обкладки (рис. 2.В). Зная характерные размеры облака,  $S_{\text{обл}} \approx 5$  км [26; 29], можно рассчитать ёмкость такого конденсатора,  $C_{\text{обл}}$ :

$$C_{\text{обл}} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S_{\text{обл}} / H_{\text{обл}} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} = 250 \text{ нФ}, \quad (6)$$

что на удивление немного (используемые в технике конденсаторы могут иметь ёмкость в 100–1000 раз больше). Однако заряд,  $Q_{\text{обл}}$ , и энергия,  $W_{\text{обл}}$ , «облачного конденсатора» получаются значительными вследствие величины  $U_{\text{обл}}$ , а именно:

$$Q_{\text{обл}} = C_{\text{обл}} \cdot U_{\text{обл}} \approx 250 \text{ Кл}; \quad (7)$$

$$W_{\text{обл}} = Q_{\text{обл}} \cdot U_{\text{обл}} / 2 \approx 1,25 \cdot 10^{11} \text{ Дж} \quad (8)$$

Пробой «облачного конденсатора» и представляет собой грозу, что впервые установили американский физик В. Franklin (1750 г.), русские физики Г.В. Рихман (1752 г.) и М.В. Ломоносов (1752 г.) [15]. При этом молния – гигантский электрический искровой разряд, а гром – звуковая волна, порождаемая резким нагреванием и расширением воздуха на пути молнии.

**Сведения об электризации поверхностных покровов животных, способных к активному полёту**, имеются для двух из трёх рецетных классов, обладающих этим свойством: насекомых (Insecta L., 1758) и птиц (Aves L., 1758). Информация об электризации рукокрылых, на сегодняшний день, отсутствует.

Наиболее известным примером электризации насекомых во время полёта являются экспери-

ментальные исследования электростатического заряда медоносной пчелы (*Apis mellifera* L., 1758), которая в зависимости от метеоусловий приобретает положительный поверхностный заряд  $+1,0 \pm 0,1$  пКл [30–33]. Наивысшие значения электрического заряда отмечены у пчёл-сигнальщиц, возвратившихся в улей после длительного полёта, – до  $+80$  пКл [33; 34]. При этом внутри улья поверхность пчелы несёт либо отрицательный ( $-1,8 \pm 0,5$  пКл), либо слаболожительный заряд [32; 34]. Наличие положительного заряда столь характерно для этих насекомых, что многие цветковые растения специально накапливают на поверхности тычиночных ножек отрицательный заряд, чтобы тычинки эффективнее притягивались к телу пчелы и стряхивали на неё пыльцу [35].

Положительный электростатический заряд на поверхности летающих насекомых активно используется и для отлова вредителей сельскохозяйственных растений с помощью электроловушек, несущих отрицательный заряд [36; 37].

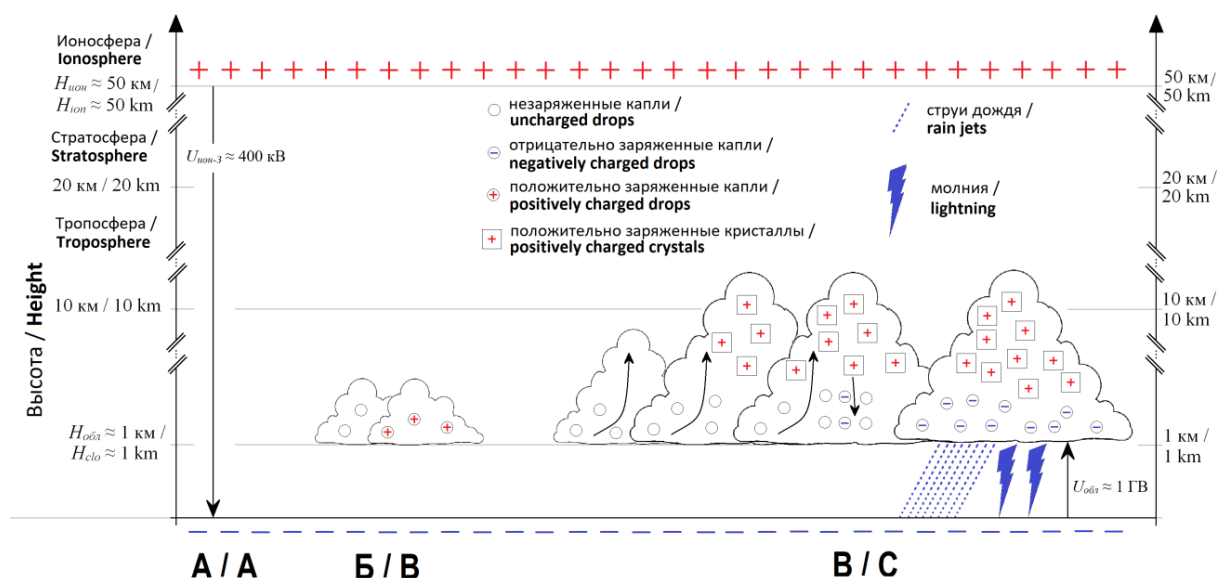
Экспериментальное изучение электризации птиц сопряжено со значительными трудностями, поскольку птицы намного крупнее насекомых, и заставить их сесть без заземления на электрометр достаточно проблематично. Тем не менее, для мелких птиц, таких, как колибри (*Trochilidae* Vigors, 1825), которые способны «зависать» в полёте, интенсивно работая крыльями, прямые измерения поверхностного электростатического заряда могут проводиться в небольших клетках. Подобного рода эксперименты показывают, что, например, на оперении колибри каллипта Анны (*Calypte anna* Lesson, 1829) в результате электризации накапливается значительный электрический заряд положительной полярности, до  $+800$  пКл [38]. Электризация оперения птиц играет роль в формировании радиоэха птиц, которое позволяет следить за миграциями птиц с помощью эхолокаторов [39; 40].

Механизм электризации насекомых и птиц, по-видимому, связан с потоком положительных атмосферных ионов (см. выше), набегающих на внешние покровы животных во время полета. Обладая более высокой подвижностью, эти ионы отнимают электроны, и поверхность тела животных заряжается положительно. Кроме того, перья и шерсть находятся ближе к положительному концу трибоэлектрического ряда, по сравнению с воздухом (табл. 1).

Летательные аппараты, представляют собой сложные технические системы, в которых различные части могут двигаться с различными скоростями (например, корпус и лопасти турбины двигателя), иметь разную температуру и электризоваться в силу различных физико-химических механизмов (особенно это касается истечения газов и частичек не до конца сгоревшего топлива из двигателя), что делает технические примеры непригодными аналогиями для целей настоящей работы.

**Электризация шерсти рукокрылых** составляет сущность электризационной гипотезы отсутствия у них вшей. Механизмы электризации предполагаются теми же, что и при электризации внешних покровов насекомых и птиц.

<sup>9</sup> В реальных условиях вода обладает проводимостью благодаря ионам растворенных в ней солей.



**Рисунок 2.** Электрические свойства атмосферы (см. объяснения в тексте): А – безоблачная погода; Б – бездождевые кучевые облака; В – дождево-кучевые (грозовые) облака  
**Figure 2.** Electrical properties of the atmosphere (see explanations in the text): А – cloudless weather; В – rainless cumulus clouds; С – rain-cumulus (thunderstorm) clouds

Размеры вшей 0,5-6,0 мм, диаметр волоса  $\sim 0,1$  мм, поэтому для надежного закрепления вши необходим охват небольшой группы волос (пряди) лапками (рис. 3.А), захватывающими волосы серповидными коготками. В процессе электризации во время полета рукокрылого все волосы приобретают статический электрический заряд одного и того же положительного знака, в результате чего волосы начинают отталкиваться друг от друга, стремясь занять максимально отдаленное положение – это существенно затрудняет прикрепление насекомых к волосанному покрову (рис. 3.Б).

Электризация волосанного покрова приводит к улучшению аэродинамических свойств<sup>10</sup> животного: молекулы воздуха, обладающие диэлектрическими свойствами, стремятся «облепить» каждый волос, исключая возникновение турбулентности. Действительно, рассмотрим энергию  $W$  шара радиусом  $R$  с зарядом  $Q$  в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Плотность энергии электрического поля,  $w$ :

$$w = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} \quad (9)$$

Напряженность электрического поля шара,  $E$ , при  $r > R$ :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad (10)$$

отсюда можно рассчитать энергию шара  $W$ :

$$W = \iiint_{\xi > R} w d\xi = \frac{\epsilon \epsilon_0 Q^2}{2 \cdot 16\pi^2 \epsilon^2 \epsilon_0^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_R^{+\infty} \frac{r^2 \sin \theta}{r^4} dr = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon\epsilon_0 R} \quad (11)$$

т.е. минимуму энергии соответствует конфигурация, когда заряженное тело окружено диэлектрической средой с как можно большей диэлектрической

проницаемостью, что и определяет притяжение диэлектрических частиц к заряженному объекту<sup>11</sup>.

Электростатический заряд скапливается и на кожных перепонках, которые занимают значительную часть тела рукокрылых. Искровые разряды, которые пробиваются между волосками и между волосками и кожными складками, доставляли бы большие неудобства насекомым. Хитиновый покров самих насекомых во время полета тоже электризуется, но накапливает иной заряд, поэтому искровой разряд имел бы место и между волосами и вшами. Это, само по себе, является объяснением отсутствия вшей у рукокрылых.

Поскольку рукокрылые являются коллективными животными, им важно сбрасывать свой электростатический заряд перед возвращением в колонию. Птицы «заземляют» свое тело при посадке на поверхность земли или водную поверхность. Насекомые избавляются от электростатического заряда после полета с помощью капелек жидкости, скапливающихся на поверхности растительности. Рукокрылые лишены такой возможности, поскольку их дневки и места зимовок находятся в пещерах или дуплах деревьев.

По-видимому, способом снятия электростатического заряда у рукокрылых является смачивание волосанного покрова и кожных перепонки обильными выделениями сальных желез<sup>12</sup>, которые у рукокрылых гипертрофировано развиты [41; 42]. У мешкокрылых летучих мышей, или футлярохвостых (*Emballonuridae* Gervais, 1856), на летательной перепонке имеются специальные железистые мешки, в

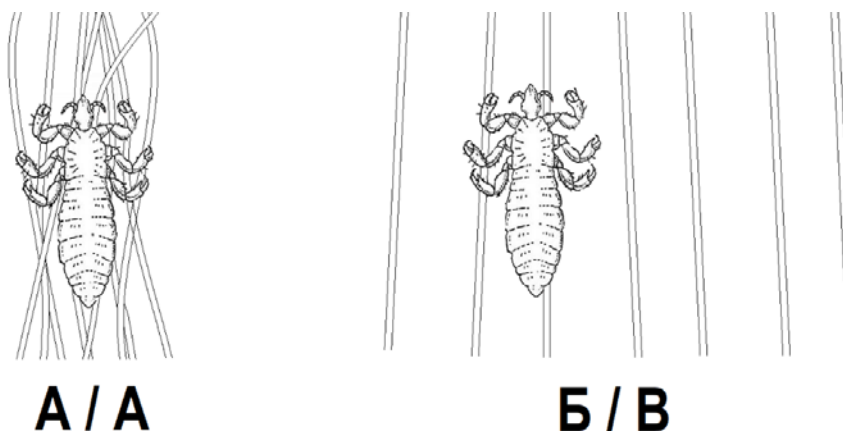
<sup>11</sup> Хорошо известный эксперимент, иллюстрирующий это положение: если потереть пластмассовую ручку о волосы, то она начнет притягивать к себе пыль и кусочки бумаги.

<sup>12</sup> Как известно, наиболее простым способом избавления от статического электричества является смачивание поверхности не дистиллированной водой, представляющей собой проводник. Например, электростатический заряд на одежде можно легко снять, проведя по ней влажной рукой.

которых скапливается жировой секрет, которым животные могут опрыскивать поверхность своего тела, чтобы избавиться от статистического заряда. Возможно, именно для удержания секрета на поверхности волосяного покрова кутикула рукокрылых имеет

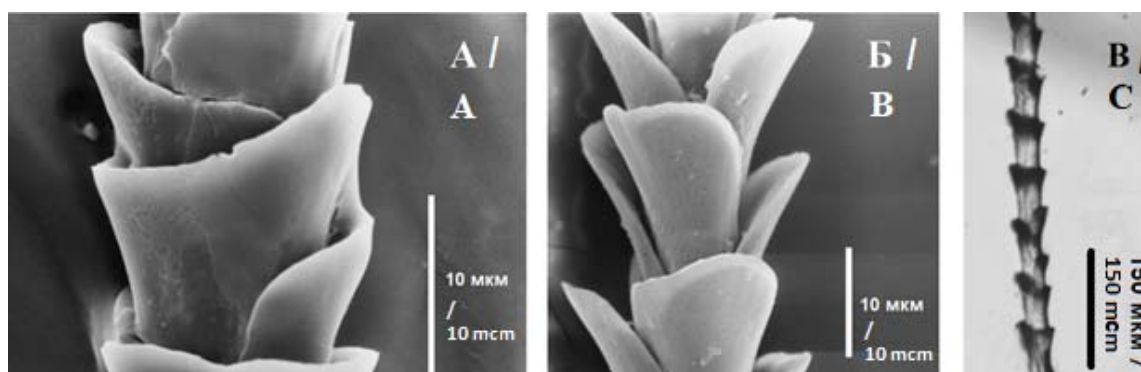
характерную раструбную форму (рис. 4), которая до сих пор не имела конструктивного объяснения [43-45].

Раструбный тип кутикулы, периодически обильно смачиваемой выделениями сальных желез, является дополнительным препятствием для обитания вшей на рукокрылых.



**Рисунок 3.** Прикрепление вшей к волосяному покрову хозяина: А – одновременно к нескольким волосам в пряди при отсутствии электризации; Б – к ограниченному числу волос при их электризации

**Figure 3.** Attachment of lice to the host's hair: A – simultaneously to several hairs of strand in the absence of electrification; B – to a limited number of hairs under their electrification



**Рисунок 4.** Кутикула волос рукокрылых (по данным [43-45]): А – малый мускусный крылан (*Ptenochirus minor* Yoshiyuki, 1979); Б – ангольская летучая собака (*Rousettus angolensis* Bocage, 1898); В – восточный нетопыр (*Pipistrellus abramus* Temminck, 1840)

**Figure 4.** Hair cuticle of bats (according to [43-45]): А – Lesser musky fruit bat (*Ptenochirus minor* Yoshiyuki, 1979); Б – Angolan rousette (*Rousettus angolensis* Bocage, 1898); В – Japanese common pipistrelle (*Pipistrellus abramus* Temminck, 1840)

В отличие от вшей, другие эктопаразиты рукокрылых – иксодовые клещи (*Ixodidae* Koch, 1844), аргасовые клещи (*Argasidae* Koch, 1844), гамазовые клещи (*Gamasina* Kramer, 1881), краснотелковые клещи (*Trombiculidae* Ewing, 1929), хейлетиелловые клещи (*Cheyletiellinae* Volgin, 1966), мухи-кровососки (*Nycteribiidae* Samouelle, 1819) – являются временными паразитами и большую часть времени могут проводить в естественных укрытиях своих прокормителей, а потому электризация не оказывает на них исключительного воздействия. Вдобавок, вши питаются всего несколько минут несколько раз в сутки, в то время период питания других эктопаразитов рукокрылых составляет более продолжительное время, и в течение этого периода паразиты связаны пищеварительным каналом с внутренней средой прокормителя, что приводит к выравниванию потенциалов паразита и прокормителя.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гипотеза об отсутствии вшей у рукокрылых вследствие электризации поверхности их тел во время полета не только согласуется с имеющимися в настоящее время физическими представлениями о трибоэлектрических явлениях и атмосферном электричестве, но и одновременно дает объяснение наличию у рукокрылых гипертрофировано развитых потовых желез и раструбной структуре волосяной кутикулы. Поверхностный электростатический заряд должен влиять на радиоэхо рукокрылых в полёте – учёт этого эффекта может открыть новые перспективы наблюдения за этими животными, ведущими активный ночной образ жизни, анализа их популяционной структуры и перемещений, что имеет не только зоологическое, но и эколого-вирусологическое значение, учитывая важную роль рукокрылых как природного резервуара большого количества вирусов.

**БЛАГОДАРНОСТЬ**

Данная статья является переработанной версией доклада по выбору на кафедре общей физики Московского физико-технического института – автор выражает искреннюю признательность всему коллективу кафедры (заведующий д.ф.-м.н., профессор А.В. Максимычев), и, в первую очередь, д.ф.-м.н. С.Л. Кленову и к.ф.-м.н. П.В. Попову.

**ACKNOWLEDGMENT**

This article is a revised version of a paper given to the Department of General Physics of the Moscow Institute of Physics and Technology – the author expresses his sincere gratitude to the entire staff of the Department (head Dr.Sc., Professor A.V. Maksimychyev), and, first of all, to Dr.Sc. S.L. Klenov and Ph.D. P.V. Popov.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Балашов Ю.С. Паразито-хозяйственные отношения членистоногих с наземными позвоночными. Ленинград: Наука, 1982. 320 с.
2. Лопатина Ю.В., Олифер В.В. Вши человека и их медицинское значение // РЭТ-инфо. 2006. N 4. С. 19-25.
3. Entomology. The Edinburgh Encyclopaedia. Vol. 9. D. Brewster (ed.) Edinburgh: Blackwood, 1815. 766 p.
4. Благоевский Д.И. Вши (Siphunculata) домашних животных. Москва–Ленинград: АН СССР, 1960. 87 с.
5. Saegerman C., Bonnet S., Bouhsira E., De Regge N., Fite J., Etoré F., Garigliany M.M., Jori F., Lempereur L., Le Potier M.F., Quillery E., Vergne T., Vial L. An expert opinion assessment of blood-feeding arthropods based on their capacity to transmit African swine fever virus in Metropolitan France // Transboundary Emerging Diseases. 2020. DOI: 10.1111/tbed.13769
6. Da Silva A.S., Lopes L.S., Diaz J.D., Tonin A.A., Stefani L.M., Araújo D.N. Lice outbreak in buffaloes: evidence of Anaplasma marginale transmission by sucking lice Haematopinus tuberculatus // Journal of Parasitology. 2013. V. 99. N 3. P. 546-477. DOI: 10.1645/GE-3260.1
7. Reed D.L., Light J.E., Allen J.M., Kirchman J.J. Pair of lice lost or parasites regained: the evolutionary history of anthropoid primate lice // BMC Biology. 2007. N 5. Article number: 7. DOI: 10.1186/1741-7007-5-7
8. Wang W., Weaver H.J., Song F., Durden L.A., Shao R. A new species of sucking louse *Hoplopleura villosissima* n.sp. (Psocodea: Phthiraptera: Hoplopleuridae) and a new host record of the spiny rat louse *Polyplax spinulosa* Burmeister, 1839 (Psocodea: Phthiraptera: Polyplacidae) from the long-haired rat *Rattus villosissimus* Waite (Rodentia: Muridae) in Australia // Parasites and Vectors. 2018. V. 11. N 1. Article number: 476. DOI: 10.1186/s13071-018-3037-8
9. Щелканов Е.М. Экология нового вида колющих вшей *Antarctophthirus nevelskoyi* на острове Тюлений в акватории Охотского моря // Материалы 61-ой Всероссийской научной конференции МФТИ «Биологическая и медицинская физика», Москва–Долгопрудный–Жуковский, Московская обл., Россия, 19-25 ноября, 2018. С. 52-54.
10. Durden L.A., Rausch R.L. *Haemodipsus brachylagi* n. sp. (Phthiraptera: Anoplura: Polyplacidae), a new sucking louse from the pygmy rabbit in Nevada // Journal of Parasitology. 2007. V. 93. N 2. P. 247-251. DOI: 10.1645/GE-1027R.1
11. Durden L.A., Eckerlin R.P. *Polyplax guatemalensis* sp. n. (Phthiraptera: Anoplura), a new sucking louse from *Peromyscus grandis*, a montane cloud forest rodent from Guatemala // Folia Parasitologica (Praha). 2001. V. 48. N 1. P. 69-72. DOI: 10.14411/fp.2001.010
12. Durden L.A., Gomez M.S. *Abrocomaphthirus chilensis* (Gomez), new combination (Phthiraptera-Anoplura), an ectoparasite of the Chilean rodent *Abrocoma bennetti* (Abrocomidae) // Parasite. 2000. V. 7. N 4. P. 331-332. DOI: 10.1051/parasite/2000074331
13. Балашов Ю.С. Специфичность паразито-хозяйственных связей членистоногих с наземными позвоночными // Паразитология. 2001. Т. 35. N 6. С. 473-489.
14. Leidenberger S., Harding K., Härkönen T. Phocid seals, seal lice and heartworms: a terrestrial host-parasite system conveyed to the marine environment // Diseases of Aquatic Organisms. 2007. V. 77. P. 235-253. DOI: 10.3354/dao01823
15. Кудрявцев П.С. История физики. Т. 1. От древности до Менделеева. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1956. 570 с.
16. Ашкинази Л.А. Что же такое электризация трением? // Квант. 1985. N 6. С. 16-19.
17. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. Москва: Мир, 1977. 300 с.
18. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. Москва: Наука, 1977. 704 с.
19. Smithsonian Physical Tables. Washington, Smithsonian Institution, 1951. 322 p.
20. Henry P.S. Survey of generation and dissipation of static electricity // British Journal of Applied Physics. 1953. V. 4. Suppl. 2. P. S6-S10.
21. Ballou J.W. Static electricity in textiles // Textile Research Journal. 1954. V. 24. N 2. P. 146-155. DOI: 10.1177/004051755402400209
22. Hersh S.P., Montgomery D.J. Static electrification of filaments: Experimental techniques and results // Textile Research Journal. 1955. V. 25. N 4. P. 279-295. DOI: 10.1177/004051755502500401
23. Rose G.S., Ward S.G. Contact electrification across metal-dielectric and dielectric-dielectric interfaces // British Journal of Applied Physics. 1957. V. 8. N 13. P. 121-126.
24. Loeb L. Static electrification. Berlin: Springer-Verlag, 1958. 400 p.
25. Coehn A. Über ein Gesetz der Electricitätserregung // Annalen der Physik und Chemie. 1898. V. 64. P. 217-232.
26. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1949. 252 с.
27. Where Lightning Strikesю NASA Science. URL: [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec\\_1/](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/) (дата обращения: 29.12.2020)
28. Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А., Гросвальд М.Г., Донченко Р.В., Дюнин А.К., Канаев Л.А., Котляков В.М., Кренке А.Н., Лосев К.С., Перов В.Ф., Цуриков В.Л. Гляциологический словарь. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 564 с.
29. Тарасов Л.В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 280 с.
30. Erickson E.H. Surface electric potentials on worker honeybees leaving and entering the hive // Journal of Apicultural Research. 1975. V. 14. P. 141-147. DOI: 10.1080/00218839.1975.11099818
31. Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eiskowitch D. The role of electrostatic forces in pollination // Plant Systematics and Evolution. 2000. V. 222. P. 133-142. DOI: 10.1007/BF00984099
32. Еськов Е.К., Сапожников А.М. Об отношении пчёл к электрическому полю // Известия Академии наук СССР, серия Биологическая. 1979. N 3. С. 395-400.
33. Еськов Е.К. Этология медоносной пчелы. Москва: Колос, 1992. 336 с.

34. Еськов Е.К. Использование статического электричества в коммуникациях пчел // Пчеловодство. 2020. N 5. С. 14-17.
35. Clarke D., Morley E., Robert D. The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception // Journal of comparative physiology. A. Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology. 2017. V. 203. N 9. P. 737-748. DOI: 10.1007/s00359-017-1176-6
36. Kakutani K., Matsuda Y., Haneda K., Sekoguchi D., Nonomura T., Kimbara J., Osamura K., Kusakari S.-I., Toyoda H. An electric field screen prevents captured insects from escaping by depriving bioelectricity generated through insect movements // Journal of Electrostatics. 2012. V. 70. P. 207-211.
37. Kusakari S.I., Okada K., Shibao M., Toyoda H. High voltage electric fields have potential to create new physical pest control systems // Insects. 2020. V. 11. N 7. 447 p. DOI: 10.3390/insects11070447
38. Badger M., Ortega-Jimenez V.M., von Rabenau L., Smiley A., Dudley R. Electrostatic charge on flying Hummingbirds and its potential role in pollination // PLoS One. 2015. V. 10. N 9. e0138003. DOI: 10.1371/journal.pone.0138003
39. Мацюра А.В. Радиолокационные орнитологические наблюдения: краткий обзор стационарных и мобильных комплексов // Acta Biologica Sibirica. 2015. T. 1. N 3-4. С. 118-147.
40. Якоби В.Э., Небабин В.Г. Радиолокация птиц: методические и практические аспекты. Москва: Наука, 1986. 111 с.
41. Кузякин А.П. Летучие мыши (систематика, образ жизни и польза для сельского и лесного хозяйства). Москва: Государственное издательство «Советская наука», 1950. 444 с.
42. Курсков А.Н. Рукокрылые охотники. Москва: Лесная промышленность, 1978. 136 с.
43. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. Species identification key of Korean mammal hair // Journal of Veterinary Medical Science. 2014. V. 76. N 5. P. 667-675. DOI: 10.1292/jvms.13-056
44. Чернова О.Ф. Архитектоника волос и её диагностическое значение. Теоретические основы современных методов экспертного исследования. Пособие для экспертов, следователей и судей. Москва: РФЦСЭ, 2003. 51 с.
45. Чернова О.Ф. Строение кутикулы остевых волос крыланов (Chiroptera, Pteropodidae) // Доклады Академии наук. 2002. T. 382. N 3. С. 425-429.
46. Da Silva A.S., Lopes L.S., Diaz J.D., Tonin A.A., Stefani L.M., Araújo D.N. Lice outbreak in buffaloes: evidence of Anaplasma marginale transmission by sucking lice Haematopinus tuberculatus. Journal of Parasitology, 2013, vol. 99, no. 3, pp. 546-477. DOI: 10.1645/GE-3260.1
47. Reed D.L., Light J.E., Allen J.M., Kirchman J.J. Pair of lice lost or parasites regained: the evolutionary history of anthropoid primate lice. BMC Biology, 2007, no. 5, Article number: 7. DOI: 10.1186/1741-7007-5-7
48. Wang W., Weaver H.J., Song F., Durden L.A., Shao R. A new species of sucking louse *Hoplopleura villosissima* n.sp. (Psocodea: Phthiraptera: Hoplopleuridae) and a new host record of the spiny rat louse *Polyplax spinulosa* Burmeister, 1839 (Psocodea: Phthiraptera: Polyplacidae) from the long-haired rat *Rattus villosissimus* Waite (Rodentia: Muridae) in Australia. Parasites and Vectors, 2018, vol. 11, no. 1, article number: 476. DOI: 10.1186/s13071-018-3037-8
49. Shchelkanov E.M. Ekologiya novogo vida kolyuchikh vshei Antartophtirus nevelskoyi na ostrove Tyulenii v akvatorii Okhotskogo morya [Ecology of a new species of prickly lice Antartophtirus nevelskoyi on the island of Seals in the Sea of Okhotsk]. Materialy 61-oi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii MFTI «Biologicheskaya i meditsinskaya fizika», Moskva-Dolgoprudnyi-Zhukovskii, Moskovskaya obl., Rossiya, 19-25 noyabrya, 2018 [Proceedings of the 61st All-Russian Scientific Conference of MIPT "Biological and Medical Physics", Moscow-Dolgoprudny-Zhukovsky, Moscow region, Russia, 19-25 November 2018]. Dolgoprudny, 2018, pp. 52-54. (In Russian)
50. Durden L.A., Rausch R.L. *Haemodipsus brachylagi* n. sp. (Phthiraptera: Anoplura: Polyplacidae), a new sucking louse from the pygmy rabbit in Nevada. Journal of Parasitology, 2007, vol. 93, no. 2, pp. 247-251. DOI: 10.1645/GE-1027R.1
51. Durden L.A., Eckerlin R.P. *Polyplax guatemalensis* sp. n. (Phthiraptera: Anoplura), a new sucking louse from *Peromyscus grandis*, a montane cloud forest rodent from Guatemala. Folia Parasitologica (Praha), 2001, vol. 48, no. 1, pp. 69-72. DOI: 10.14411/fp.2001.010
52. Durden L.A., Gomez M.S. *Abrocomaphthirus chilensis* (Gomez), new combination (Phthiraptera-Anoplura), an ectoparasite of the Chilean rodent *Abrocoma benettii* (Abrocomidae). Parasite, 2000, vol. 7, no. 4, pp. 331-332. DOI: 10.1051/parasite/2000074331
53. Balashov Yu.S. A specificity of host-parasite relations between arthropods and terrestrial vertebrates. Parazitologiya [Parasitology]. 2001, vol. 35, no. 6, pp. 473-289. (In Russian)
54. Leidenberger S., Harding K., Härkönen T. Phocid seals, seal lice and heartworms: a terrestrial host-parasite system conveyed to the marine environment. Diseases of Aquatic Organisms, 2007, vol. 77, pp. 235-253. DOI: 10.3354/dao01823
55. Kudryavtsev P.S. Istoriya fiziki. Ot drevnosti do Mendeleeva [The history of physics. From ancient times until Mendeleev]. Moscow, State Educational and Pedagogical Publishing House of the Ministry of Education of the RSFR, 1956, vol. 1, 570 p. (In Russian)
56. Ashkinazi L.A. What is friction electrification? Kvant [Quantum]. 1985, no. 6, pp. 16-19. (In Russian)
57. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feinmanovskie lektzii po fizike. Elektrichestvo i magnetizm [The Feynman lectures on physics. Electricity and Magnetism]. Moscow, Mir Publ., 1977, vol. 5, 300 p. (In Russian)
58. Sivukhin D.V. Obshchii kurs fiziki. Elektrichestvo [General Course of Physics. Electricity]. Moscow, Nauka Publ., 1977, vol. 3, 704 p. (In Russian)
59. Smithsonian Physical Tables. Washington, Smithsonian Institution, 1951, 322 p.

## REFERENCES

1. Balashov Yu.S. Parazito-khozyainnye otnosheniya chlenistonogikh s nazemnymi pozvonochnymi [Parasite-host relationships of arthropods with terrestrial vertebrates]. Leningrad, Nauka Publ., 1982, 320 p. (In Russian)
2. Lopatina Yu.V., Olifer V.V. Louse and their medical significance. RAT-info [RAT-info]. 2006, no. 4, pp. 19-25. (In Russian)
3. Brewster D., ed. Entomology. The Edinburgh Encyclopaedia. Edinburgh, Blackwood, 1815, vol. 9, 766 p.
4. Blagoveshtchensky D.I. Vshy (*Siphunculata*) domashnykh zhivotnykh [Louse (*Siphunculata*) of domestic animals]. Moscow-Leningrad, Academy of Sciences of Soviet Union Publ., 1960, 87 p. (In Russian)
5. Saegerman C., Bonnet S., Bouhsira E., De Regge N., Fite J., Etoré F., Garigliany M.M., Jori F., Lempereur L., Le Potier M.F., Quillery E., Vergne T., Vial L. An expert opinion assessment of blood-feeding arthropods based on their capacity to transmit African swine fever virus in Metropolitan France. Transboundary Emerging Diseases, 2020. DOI: 10.1111/tbed.13769

20. Henry P.S. Survey of generation and dissipation of static electricity. *British Journal of Applied Physics*. 1953, vol. 4, suppl. 2, pp. S6-S10.
21. Ballou J.W. Static electricity in textiles. *Textile Research Journal*, 1954, vol. 24, no. 2, pp. 146-155. DOI: 10.1177/004051755402400209
22. Hersh S.P., Montgomery D.J. Static electrification of filaments: Experimental techniques and results. *Textile Research Journal*, 1955, vol. 25, no. 4, pp. 279-295. DOI: 10.1177/004051755502500401
23. Rose G.S., Ward S.G. Contact electrification across metal-dielectric and dielectric-dielectric interfaces. *British Journal of Applied Physics*. 1957, vol. 8, no. 13, pp. 121-126.
24. Loeb L. Static electrification. Berlin, Springer-Verlag, 1958, 400 p.
25. Coehn A. Über ein Gesetz der Electricitätserregung. *Annalen der Physik und Chemie*. 1898, vol. 64, pp. 217-232.
26. Tverskoy P.N. *Atmosfernoe elektrichestvo* [Atmospheric electricity]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1949, 252 p. (In Russian)
27. Where Lightning Strikesю NASA Science. Available at: [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec\\_1/](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/) (accessed 29.12.2020)
28. Alekseev V.R., Volkov N.V., Vtyurin B.I., Vtyurina E.A., Grosval'd M.G., Donchenko R.V., Dyunin A.K., Kanaev L.A., Kotlyakov V.M., Krenke A.N., Losev K.S., Perov V.F., Tsurikov V.L. *Glyatsiologicheskii slovar* [Glaciological Dictionary]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1984, 564 p. (In Russian)
29. Tarasov L.V. *Vetry i grozy v atmosfere Zemli* [Winds and thunderstorms in the Earth's atmosphere]. Dolgoprudny, Intellect Publ., 2011, 280 p. (In Russian)
30. Erickson E.H. Surface electric potentials on worker honeybees leaving and entering the hive. *Journal of Apicultural Research*, 1975, vol. 14, pp. 141-147. DOI: 10.1080/00218839.1975.11099818
31. Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eisikowitch D. The role of electrostatic forces in pollination. *Plant Systematics and Evolution*, 2000, vol. 222, pp. 133-142. DOI: 10.1007/BF00984099
32. Es'kov E.K., Sapozhnikov A.M. On the relation of bees to the electric field. *Izvestiya Akademii nauk SSSR, seriya Biologicheskaya* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, series of Biological]. 1979, no. 3, pp. 395-400. (In Russian)
33. Es'kov E.K. *Etologiya medonosnoi pchely* [Ethology of the honey bee]. Moscow, Kolos Publ., 1992, 336 p. (In Russian)
34. Es'kov E.K. The use of static electricity in the communication of bees. *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. 2020, no. 5, pp. 14-17. (In Russian)
35. Clarke D., Morley E., Robert D. The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception. *Journal of comparative physiology. A. Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 2017, vol. 203, no. 9, pp. 737-748. DOI: 10.1007/s00359-017-1176-6
36. Kakutani K., Matsuda Y., Haneda K., Sekoguchi D., Nonomura T., Kimbara J., Osamura K., Kusakari S.-I., Toyoda H. An electric field screen prevents captured insects from escaping by depriving bioelectricity generated through insect movements. *Journal of Electrostatics*. 2012, vol. 70, pp. 207-211.
37. Kusakari S.I., Okada K., Shibao M., Toyoda H. High voltage electric fields have potential to create new physical pest control systems. *Insects*, 2020, vol. 11, no. 7, p. 447. DOI: 10.3390/insects11070447
38. Badger M., Ortega-Jimenez V.M., von Rabenau L., Smiley A., Dudley R. Electrostatic charge on flying Hummingbirds and its potential role in pollination. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 9, p. e0138003. DOI: 10.1371/journal.pone.0138003
39. Matsuyura A.V. Radar ornithological observations: a brief overview of stationary and mobile complexes. *Acta Biologica Sibirica* [Acta Biologica Sibirica]. 2015, vol. 1, no. 3-4, pp. 118-147. (In Russian)
40. Yakobi V.E., Nebabin V.G. *Radiolokatsiya ptits: metodicheskie i prakticheskie aspekty* [Bird radar: methodological and practical aspects]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 111 p. (In Russian)
41. Kuzyakin A.P. *Letuchie myshi (sistematika, obraz zhizni i pol'za dlya sel'skogo i lesnogo khozyaistva)* [Bats (taxonomy, lifestyle and benefits for agriculture and forestry)]. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1950, 444 p. (In Russian)
42. Kurskov A.N. *Rukokrylye okhotniki* [Bat hunters]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1978, 136 p. (In Russian)
43. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. Species identification key of Korean mammal hair. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2014, vol. 76, no. 5, pp. 667-675. DOI: 10.1292/jvms.13-056
44. Chernova O.F. *Arkhitektonika volos i ee diagnosticheskoe znachenie. Teoreticheskie osnovy sovremennykh metodov ekspertnogo issledovaniya. Posobie dlya ekspertov, sledovatelei i sudei* [Hair architectonics and its diagnostic significance. Theoretical foundations of modern methods of expert research. Handbook for experts, investigators and judges]. Moscow, RFCSE Publ., 2003, 51 p. (In Russian)
45. Chernova O.F. Structure of the cuticle of the fruit bat (Chiroptera, Pteropodidae) guard hairs. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 2002, vol. 382, no. 3, pp. 425-429. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Егор М. Щелканов придумал идею статьи, работал с научной литературой, написал рукопись. Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Egor M. Shchelkanov conceived the idea of the study, worked with the scientific literature and wrote the article. The author is responsible for plagiarism and self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

#### ORCID

Егор М. Щелканов / Egor M. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>