



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 309–316

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 309–316

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-309-316>

Научная статья

УДК 595.76:591.582.2

Особенности стрессовых сигналов водных жесткокрылых *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 и *Berosus spinosus* Steven, 1808 (Coleoptera: Hydrophilidae)



Е. Ю. Родионова^{1✉}, А. С. Сажнев², С. Ю. Кустов¹, А. С. Миролюбов³

¹Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149

²Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Россия, 152742, Ярославская область, п. Борок

³Зоологический институт РАН, Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 1

Родионова Елена Юрьевна, аспирант, преподаватель кафедры зоологии, rigaey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5631-2204>

Сажнев Алексей Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии водных беспозвоночных, sazh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0907-5194>

Кустов Семен Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии, kustov-semen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4448-4855>

Миролюбов Алексей Александрович, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории паразитических червей и протистов, Alexei.Miroliubov@zin.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3537-2341>

Аннотация. Изучение акустических сигналов разных представителей насекомых, и в частности жесткокрылых, имеет давнюю историю. В русскоязычной литературе достаточно широко известны систематические, фаунистические и экологические работы по водным жукам, включая таковые по семейству Hydrophilidae, однако работы по биоакустике этой группы жесткокрылых достаточно редки. Целью нашего исследования было изучить стрессовые сигналы двух видов Hydrophilidae – *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 и *Berosus spinosus* Steven, 1808. Звуки имаго записывали с помощью измерительного конденсаторного микрофона Behringer ECM8000. Звуки самцов *B. spinosus* имеют максимальную частоту встречаемости в пределах 3729,31–4013,75 Гц, звуки *B. frontifoveatus* – 4895,42–5842,76 Гц. Звуки самок *B. spinosus* имеют максимальную частоту встречаемости в промежутке между 2585,98 и 2807,82 Гц. Звуки самок *B. frontifoveatus* имеют максимальную частоту доминантной частоты в промежутке 2745,21–3476,23 Гц.

Ключевые слова: водные жуки, стридуляция, биоакустика, Россия

Благодарности: Авторы выражают благодарность руководителю ЦКП «Таксон» А. С. Намятовой за помощь при работе с электронным микроскопом. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Таксон» (ЗИН РАН, Санкт-Петербург). Исследование проведено в рамках научного проекта и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-34-90022). Работа А. С. Сажнева выполнена в рамках государственного задания (НИОКТР 121051100109-1).

Для цитирования: Родионова Е. Ю., Сажнев А. С., Кустов С. Ю., Миролюбов А. С. Особенности стрессовых сигналов водных жесткокрылых *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 и *Berosus spinosus* Steven, 1808 (Coleoptera: Hydrophilidae) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 309–316. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-309-316>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Stress signals of water scavenger beetles *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 and *Berosus spinosus* Steven, 1808 (Coleoptera: Hydrophilidae)

Е. Ю. Родионова^{1✉}, А. С. Сажнев², С. Ю. Кустов¹, А. А. Миролюбов³

¹Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar 350040, Russia

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok (Yaroslavl Province) 152742, Russia

³Zoological Institute, Russian Academy of Science, 1 Universitetskaya Embankment, St. Petersburg 199034, Russia

Elena Yu. Rodionova, rigaey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5631-2204>

Alexey S. Sazhnev, sazh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0907-5194>

Semen Yu. Kustov, kustov-semen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4448-4855>

Alexey A. Miroliubov, Alexei.Miroliubov@zin.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3537-2341>



Abstract. The study of acoustic signals from various representatives of insects, and in particular coleopterans, has a long history. In the Russian-language literature, systematic, faunistic and ecological studies on aquatic beetles, including those on the family Hydrophilidae, are widely known; however, studies on the bioacoustics of the coleopteran group are quite rare. The aim of our study was to study stress signals of two species of Hydrophilidae – *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 and *Berosus spinosus* Steven, 1808. The sounds of adults were recorded using a Behringer ECM8000 measuring condenser microphone. The sounds of *B. spinosus* males have a maximum frequency of occurrence in the range of 3729.31–4013.75 Hz, sounds of *B. frontifoveatus* is 4895.42–5842.76 Hz. The sounds of *B. spinosus* females have a maximum frequency of occurrence between 2585.98 and 2807.82 Hz. The sounds of *B. frontifoveatus* females have a maximum performance of the dominant frequency in the range of 2745.21–3476.23 Hz.

Keywords: aquatic beetles, stridulation, bioacoustic, Russia

Acknowledgments: The authors are grateful to the head of the «Taxon», Research Resource Centre A. S. Namyatova for help in working with the electron microscope. The studies were performed on the equipment of the Taxon Research Resource Centre (Zoological Institute, Russian Academy of Sciences). The reported study was funded by RFBR (project No. 20-34-90022). The work of A. S. Sazhnev was carried out within the framework of State assignment (NIOKTR 121051100109-1).

For citation: Rodionova E. Yu., Sazhnev A. S., Kustov S. Yu., Miroliubov A. A. Stress signals of water scavenger beetles *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 and *Berosus spinosus* Steven, 1808 (Coleoptera: Hydrophilidae). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 309–316. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-309-316>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Изучение акустических сигналов разных представителей насекомых, и в частности жесткокрылых, имеет давнюю историю. В русскоязычной литературе достаточно широко известны систематические, фаунистические и экологические работы по водным жукам, включая таковые по семейству Hydrophilidae, однако работы по биоакустике этой группы жесткокрылых достаточно редки.

Семейство Hydrophilidae на территории России насчитывает порядка 140 видов [1], из них для рода *Berosus* известно 9 видов. Стридуляция описана для следующих родов семейства Hydrophilidae, обитающих на территории нашей страны: *Ametor*, *Berosus*, *Enochrus*, *Hydrobius*, *Hydrophilus*, *Laccobius* и *Limnoxenus* [2–5]. Стридуляционный аппарат большинства Hydrophilidae состоит из двух контактирующих друг с другом частей: pars stridens (ряд тонких параллельных ребер или зубцов, образующих стридуляционное поле на внутренней стороне надкрылий) и plectrum (резко выступающий гребень или ряд ребристых выступов на первом или втором стерните брюшка) [5–7].

Понимание о расположении стридуляционных органов (pars stridens и plectrum) не однозначно, что приводит к путанице относительно терминологии. Ряд авторов описывают расположение pars stridens на стерните брюшка, в то время как plectrum располагается на внутренней поверхности надкрылий [2, 3, 5]. Другие авторы [8] понимают под pars stridens стридуляционное поле на внутренней стороне надкрылий, а расположение plectrum описывают на стернитах брюшка. Мы придерживаемся первой точки зрения [6] (рис. 1).

Акустические сигналы видов рода *Berosus* производится благодаря потиранию бороздчатой

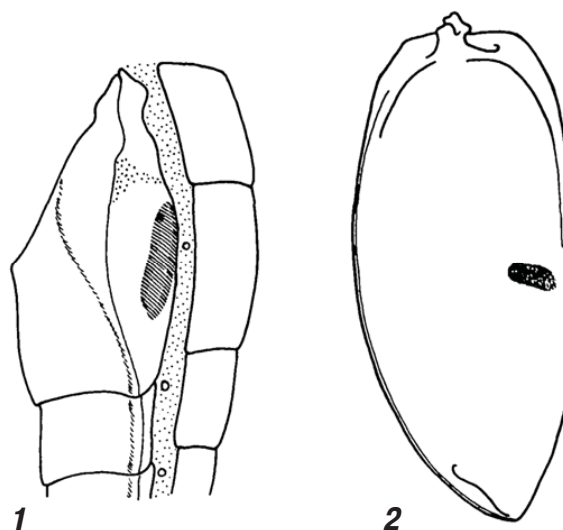


Рис. 1. Расположение стридуляционного аппарата *Berosus* sp.: 1 – pars stridens, ряд тонких параллельных ребер на первом стерните брюшка (laterosternite); 2 – plectrum, ряд ребристых выступов на внутренней стороне правого надкрылья (по Van Tassel [9])

Fig. 1. Location of the stridulation apparatus *Berosus* sp.: 1 – Side view of basal section of abdomen of *Berosus* sp., showing elliptical file on laterosternite; 2 – Underside of right elytron, showing rough-edged patch. When the elytra are in place, the rough spot lies directly over the file (by Van Tassel [9])

области на дорсальной поверхности первого брюшного сегмента (plectrum) о ряд мелких зубцов на внутренней стороне надкрылий (pars stridens, elytral stridulatory area) [9]. Основная функция этих звуков состоит в привлечении полового партнера, предупреждении о приближении хищника, они применяется как стрессовый сигнал на изменения среды, а также для коммуникации внутри популяции [10]. Для рода *Berosus*



отмечено, что имаго некоторых видов издают слышимые человеческому уху звуки, описанные как стрессовые [9]. Исследователями было отмечено, что звуки базовых сигналов различаются по продолжительности внутри одних и тех же таксонов, и даже между полами [11]. Например, сигналы ухаживания более короткие, нежели чем сигналы тревоги [9]. Целью нашего исследования было изучить стрессовые сигналы видов *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 и *Berosus spinosus* Steven, 1808.

Материалы и методы

Материал для исследования был собран на реке Кубань в районе Всероссийского научно-исследовательского института биологической защиты растений (45°02'356.5 "N; 38°52'22.1 "E) в период с июня по сентябрь 2020 г. Взрослые жуки были собраны общепринятыми энтомологическими методами сбора насекомых: сбор насекомых водным сачком, из сачка насекомые извлекались с помощью эксгаустера [12]. Самцов и самок хранили в пластиковых контейнерах с почвой и растениями, набранными на берегу реки Кубань и водой при температуре 24–26°C, влажности 65%, режиме света 16:8 ч (день:ночь) в камере постоянного климата (модель KBF720; Binder, Германия).

Звуки насекомых записывались с помощью измерительного конденсаторного микрофона (модель ECM8000; Behringer, Германия), микрофонно-линейного лампового предусилителя с лимитером, Германия) [13]. Так как данный микрофон не может быть помещён в воду, то была использована мембрана из полиэтилена (толщина 45 мкм), натянутая на срезанную конусообразную пробирку. Данные сохранялись в виде файлов .wav на ноутбуке (модель HP Pavilion g series, США). Для записи звука использовалась программа Sony Sound Forge Pro 10.0, для очистки звуков от фонового шума использовалась программа Adobe Audition CC 12.1. Все испытания проводились в лаборатории химической коммуникации и массового разведения насекомых при температуре 22–24° С. Стрессовые сигналы для самцов и самок *B. frontifoveatus* и *B. spinosus* моделировались в соответствии с процедурой, использованной для создания стрессовых сигналов для данного рода [9]. Каждого взрослого жука удерживали за голову в воде, и звуки записывались на расстоянии 1 см от конденсаторного микрофона Behringer. Сигналы стресса в эксперименте регистрировались у 25 имаго. Запись производилась в течение полутора минут, в трехкратной повторности. Итоговое количество измерений звуковых сигналов для самцов *B. spinosus* составило $n = 78$, самок

B. spinosus $n = 72$, самцов *B. frontifoveatus* $n = 74$, самок *B. frontifoveatus* $n = 69$. Процесс записи представлен на рис. 2. Для самцов и самок изучаемого вида анализировали диапазон издаваемых частот, который визуализировали графически. Немаловажными оказались параметры среднего значения временных характеристик (длительность сигнала, межимпульсный интервал и количество импульсов). Для средних значений (M) считали стандартное отклонение ($\pm SE$).



Рис. 2. Искусственное моделирование сигнала стресса для *B. spinosus* в емкости с водой (фото Е. Ю. Родионовой)
Fig. 2. Laboratory modeling of the stress signal for *B. spinosus* in a container with water (photo by E. Yu. Rodionova)

Для получения изображения звуковых структур препараты имаго *B. spinosus* готовили для сканирующей электронной микроскопии. Образцы устанавливали на алюминиевые столики и покрывали палладием (Ion coater IB-5, Eiko Engineering Co., Ltd., Япония) перед визуализацией с использованием сканирующего электронного микроскопа (Hitachi TM-1000, Hitachi, Япония) на базе Зоологического института РАН (Санкт-Петербург).

Результаты и их обсуждение

В ходе лабораторных экспериментов было записано более 480 звуковых сигналов для исследуемых видов. На рис. 3 отображены диапазоны частот для самцов и самок *B. spinosus* и *B. frontifoveatus*. В каждом из графиков проведен анализ на соответствие нормальному распределению, рассчитанному по формуле:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

где μ – математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения, а параметр σ – среднее квадратическое отклонение, σ^2 – дисперсия распределения.

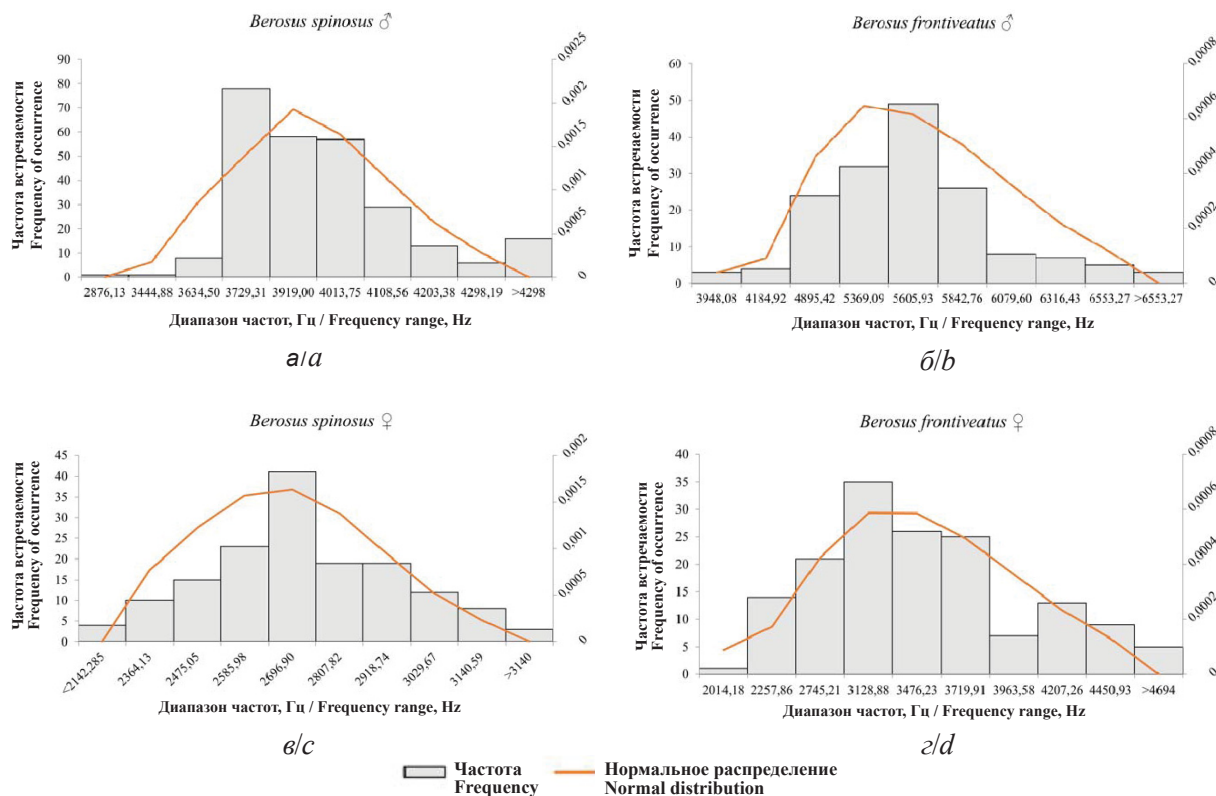


Рис. 3. Диапазоны частот (Гц) для звуков стресса самцов и самок *B. frontifoveatus* и *B. spinosus* (a – самец *B. spinosus*; б – самец *B. frontifoveatus*; в – самка *B. spinosus*; г – самка *B. frontifoveatus*)
Fig. 3. Frequency range (Hz) of stress sounds male and female *B. frontifoveatus* and *B. spinosus* (a – male *B. spinosus*; b – male *B. frontifoveatus*; c – female *B. spinosus*; d – female *B. frontifoveatus*)

Полученные графики показывают, что наши значения близки к нормальному распределению. Для стрессовых сигналов самцов *B. spinosus* и *B. frontifoveatus* диапазоны частот составили 2876,13–4298,19 Гц и 3948,08–6554,27 соответственно. Для звуков самок *B. spinosus* и *B. frontifoveatus* диапазон частот составил 2142,28–3140,00 и 2014,18–4694,00 Гц, соответственно. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что самцы имеют более выраженную разницу в диапазонах издаваемых частот.

У самцов исследуемых видов наибольшая встречаемость доминантных частот сосредоточена в средних значениях графиков. Звуки *B. spinosus* имеют максимум встречаемости частот в пределах 3729,31–4013,75 Гц, в то время как для *B. frontifoveatus* эти показатели составляют 4895,42–5842,76 Гц. Разница в диапазоне частот лежит в пределах 1166,11–1829,01 Гц. Следует отметить, что максимальная частота встречаемости доминантных частот для видов не перекрывается.

Звуки самок, в свою очередь, имеют достаточно размазанную частоту встречаемости доминантных сигналов. Звук самки *B. spinosus*

имеет максимальную частоту встречаемости в промежутке между 2585,98 и 2807,82 Гц, при этом примерно одинаковую частоту встречаемости можно наблюдать в промежутках между 2364,13–2585,98 и 2807,82–3029,67 Гц. Звуки самок *B. frontifoveatus* имеет максимальную частоту встречаемости доминантной частоты в промежутке 2745,21–3476,23 Гц, одинаковая частота встречаемости наблюдается в промежутках между 2257,86–2745,32 и 3476,23–3962,58 Гц. Анализируя полученные данные, можно заключить, что верхняя граница доминантных частот звуков самок *B. spinosus* пересекается с нижней границей доминантной частоты звуков самок *B. frontifoveatus*.

Диапазон частот не всегда может дать полное понимание, как различаются звуки внутри рода, особенно если сравнивать достаточно большое количество видов [9]. Временные характеристики (длительность сигнала, межимпульсный сигнал и частота импульса) позволяют определить для каждого вида тот уникальный сигнал, который неповторим и является видоспецифичным. В таблице представлены характеристики для исследуемых видов.



Временные характеристики звуковых сигналов *B. spinosus* и *B. frontifoveatus*
The temporal characteristics of sound signals *B. spinosus* and *B. frontifoveatus*

Вид Species	Длительность, с Chirp Duration, sec		Межимпульсный интервал, с Interpulse interval, sec		Частота импульса, шт. Number of pulses	
	Диапазон Range	M±SE Average±SE	Диапазон Range	M ± SE Average ± SE	Диапазон Range	M ± SE Average ± SE
<i>Berosus spinosus</i> ♂	0,040–0,138	0,101±0,017	0,045–0,814	0,226±0,126	1–11	11,52 ± 4,46
<i>Berosus spinosus</i> ♀	0,058–0,197	0,138±0,021	0,186–1,463	0,44±0,233	1–57	7,7 ± 2,81
<i>Berosus frontiveatus</i> ♂	0,107–0,587	0,222±0,123	0,014–0,064	0,043±0,009	1–11	4,03 ± 0,48
<i>Berosus frontiveatus</i> ♀	0,035–0,083	0,05±0,01	0,087–0,383	0,164±0,06	1–30	9,43 ± 2,38

Частота импульсов звуков самцов *B. spinosus* в два раза больше, чем частота звуков самцов *B. frontifoveatus* (рис. 4). В среднем *B. spinosus* производит 11,52±4,46 импульсов за один сигнал, а *B. frontifoveatus* – 4,03±0,48 импульсов. Межимпульсный интервал для данных видов

существенно различается: у *B. spinosus* в среднем он составляет 0,226±0,126 с, а у *B. frontifoveatus* 0,043±0,009 с. Длительность сигналов при этом имеют обратную зависимость. Так, *B. spinosus* имеет длительность сигнала в два раза ниже, чем *B. frontifoveatus*.

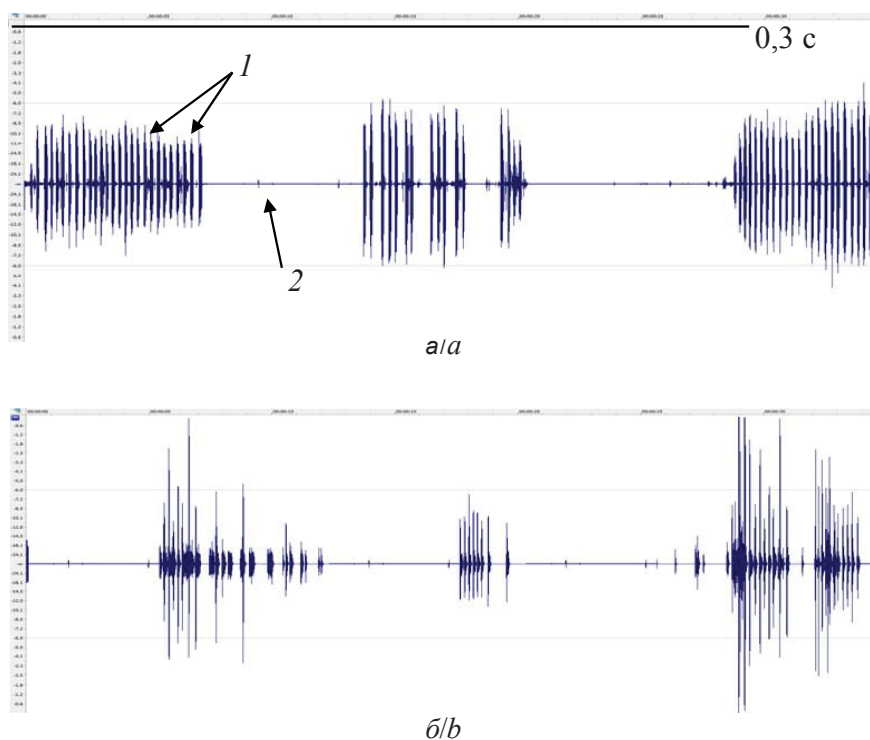


Рис. 4. Осциллограмма стрессовых сигналов звуков самцов (а – самец *B. spinosus*, б – самец *B. frontifoveatus*; 1 – частота импульса; 2 – межимпульсный интервал)
 Fig. 4. Oscillogram of stress signals of sounds of males (a – male *B. spinosus*, b – male *B. frontifoveatus*; 1 – pulse frequency; 2 – interpulse interval)

Характер звуков самок сильно отличается от звуков самцов. Их частота импульсов значительно превышает частоту импульсов самцов для аналогичных видов. Частота импульсов для звуковых сигналов самок примерно одинакова по средним значениям: *B. spinosus* 7,7±2,81 и *B. frontifoveatus*

9,43±2,38 (рис. 5). При этом максимальное число импульсов отмечено для самок *B. spinosus* – 57 ед. Самцы же имеют примерно одинаковое количество максимального числа импульсов за сигнал. Межимпульсный интервал и длительность сигнала почти в 2 раза выше у самок *B. spinosus*, чем у *B. frontifoveatus*.

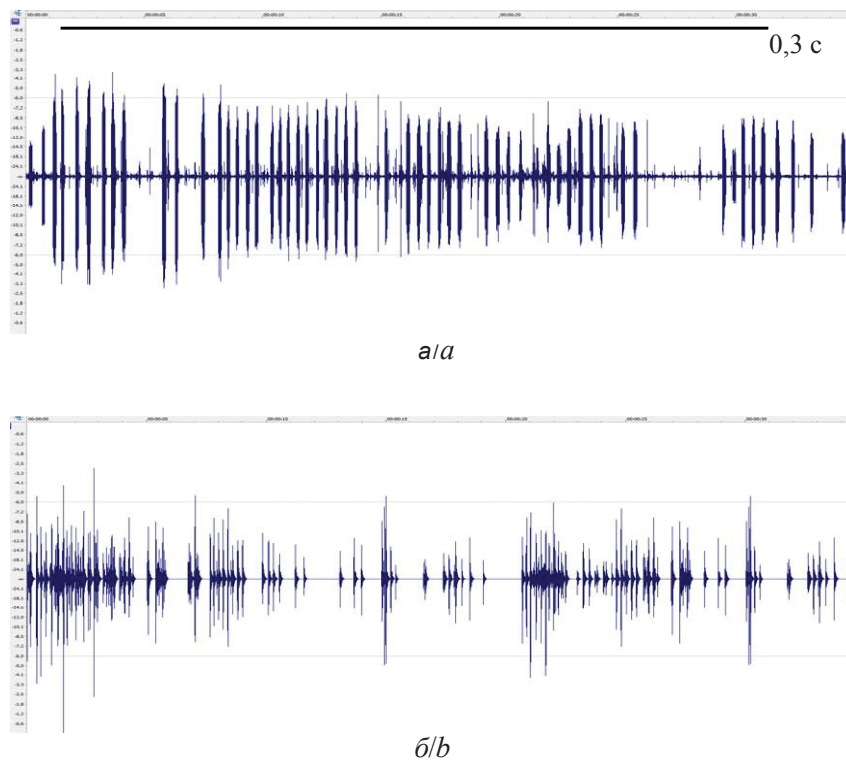


Рис. 5. Осциллограмма стрессовых сигналов звуков самок (а – самка *B. spinosus*, б – самка *B. frontifoveatus*)
Fig. 5. Oscillogram of stress signals of sounds of females (a – female *B. spinosus*, b – female *B. frontifoveatus*)

Сравнивая временные характеристики звуковых сигналов самцов и самок, можно предположить, что частота импульса влияет на продолжительность сигнала и межимпульсные интервалы. Чем выше частота импульса, тем больше межимпульсный интервал у звуковых сигналов самцов и самок, при этом длительность сигнала

имеет обратную пропорциональность у самцов. Возможно, это связано с тем, что самцы менее активны во время сигналов стресса. Самки же намного активнее сигнализируют, что привычные для них условия нарушены.

Морфологическая структура стридуляционных органов *B. spinosus* представлена на рис. 6.

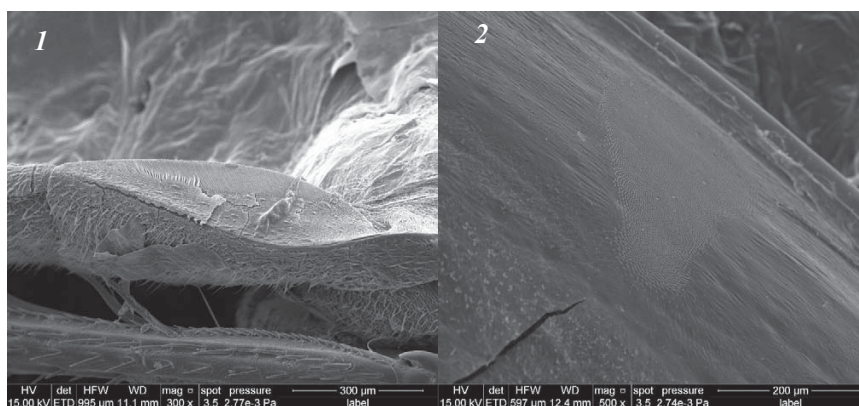


Рис. 6. Стридуляционные органы *B. spinosus*: 1 – pars stridens, ряд тонких параллельных ребер на первом стерните брюшка; 2 – plectrum, ребристые выступы на нижней стороне надкрылья (стридуляционное поле)
Fig. 6. Structure of stridulatory organs of *B. spinosus*: 1 – pars stridens; 2 – plectrum (elytral stridulatory area)



Ребристые выступы на внутренней стороне надкрылья имеют каплеобразную форму. Расположение зубцов может иметь систематическое значение и играть роль видоспецифичного признака, что, однако, требует детального исследования.

Заключение

Как видно из диапазонов доминантных частот, звуки самцов *B. spinosus* имеет более низкие частоты, при этом максимальный пик частот приходится на промежуток 3729,31–4013,75 Гц. Для самца *B. frontifoveatus* максимальный пик приходится на промежуток 4895,42–5842,76 Гц. Самки имеют более широкие границы доминантных частот. Звуки самок *B. spinosus* и *B. frontifoveatus* имеют пересекающиеся участки во встречаемости доминантных частот и максимальную частоту встречаемости в промежутке между 2745,21–2807,82 Гц.

Временные характеристики показывают, что самцы менее активны, чем самки. При этом звуки самцов *B. spinosus* имеет большее количество импульсов – 57 ед. за один смысловой сигнал, среднее значение импульсов также выше у звуковых сигналов самцов этого вида – $11,52 \pm 4,46$ ед. Межимпульсный интервал показывает, что длительность напрямую зависит от частоты импульсов. Чем выше частота, тем более высок промежуток между импульсами. Звуки самцов и самок *B. spinosus* имеют значения, значительно превышающие таковые у звуков самцов и самок *B. frontifoveatus*. Длительность сигнала для звуков самцов имеет обратную пропорциональность. Длительность звукового импульса *B. frontifoveatus* ($0,222 \pm 0,123$ с), в два раза дольше такового у *B. spinosus* ($0,101 \pm 0,017$ с). Звуки самок *B. spinosus* ($0,138 \pm 0,021$ с) имеют длительность импульса в два раза выше, чем звуки самок *B. frontifoveatus* ($0,05 \pm 0,01$ с).

Список литературы

1. Список видов семейства Hydrophilidae (Водолюбы) фауны России. URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/hydropru.htm> (дата обращения: 10.07.2020).
2. Short A. E. Z., Jeffrey C., Emmanuel F. A. Phylogeny, classification and evolution of the water scavenger beetle tribe Hydrobiusini inferred from morphology and molecules (Coleoptera: Hydrophilidae: Hydrophilinae) // Systematic Entomology. 2017. Vol. 42, iss. 4. P. 677–691.
3. Maillard Y.P., Seilier R. La pars stridens des Hydrophilidae (Ins. Coleopteres); etude au microscope electronique a halayage // Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Paris (D). 1970. Vol. 270. P. 2969–2972.
4. Allen A. A. Hydrophilus piceus at Deal; and a seldom noticed? habit of the larva // Entomologist's Mon. Mag. 1956. Vol. 92. P. 153.
5. Pirisinu Q., Spinelli G., Bicchierai M. C. Stridulatory apparatus in the Italian species of the genus Laccobius erichson (Coleoptera : Hydrophilidae) // International Journal of Insect Morphology and Embryology. 1988. Vol. 17, iss. 2. P. 95–101.
6. Dumortier B. Morphology of sound emission apparatus in Arthropoda // Acoustic Behavior of Animals. Amsterdam : Elsevier Publish, 1963. P. 277–345.
7. Жантеев П. Д. Биоакустика насекомых. М. : Издательство МГУ, 1981. 256 с.
8. Ryker L. C. The role of acoustical signals in the communicative behavior of the water scavenger beetles, *Tropisternus* (Coleoptera: Hydrophilidae). Thesis Diss. Dr. Sci. (Philos.). Oregon State University, 1976. P. 153.
9. Van Tassell E. R. An audiospectrographic study of stridulation as an isolating mechanism in the Genus *Berosus* (Coleoptera: Hydrophilidae) // Annals of the Entomological society of America. 1965. Vol. 58. P. 407–413.
10. Aiken R. B. Sound production by aquatic insects // Biological Reviews. 1985. Vol. 65. P. 163–211.
11. Heller K. G., Helversen D. von. Acoustic communication in phaneropterid bushcrickets : Species-specific delay of female stridulatory response and matching male sensory time window // Behavioral Ecology and Sociobiology. 1986. Vol. 18, iss. 3. P. 189–198.
12. Голуб В. Б., Цуриков М. Н., Прокин А. А. Коллекции насекомых : сбор, обработка и хранение материала. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.
13. Rodionova E. Yu., Sazhnev A. S. The use of a consider microphone for the study of stridulation of aquatic and semi-aquatic // 63rd International Scientific Conference for Students of Physics and Natural Sciences, Vilnius, Lithuania, 17–20 March, 2020. P. 547.
14. Ryker L. C. Acoustic behavior of *Tropisternus ellipticus*, *T. columbianus* and *T. lateralis* in western Oregon (Coleoptera: Hydrophilidae) // The Coleopterists Bulletin. 1976. Vol. 30. P. 147–156.

Reference

1. The list of species family Hydrophilidae (water scavenger beetles) Russian fauna. Available at: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/hydropru.htm> (accessed 10 July 2020) (in Russian).
2. Short A. E. Z., Jeffrey C., Emmanuel F. A. Phylogeny, classification and evolution of the water scavenger beetle tribe Hydrobiusini inferred from morphology and molecules (Coleoptera: Hydrophilidae: Hydrophilinae). Systematic Entomology, 2017, vol. 42, iss. 4, pp. 677–691.
3. Maillard Y. P., Seilier R. La pars stridens des Hydrophilidae (Ins. Coleopteres); etude au microscope electronique a halayage. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Paris (D), 1970, vol. 270, pp. 2969–2972.



4. Allen A. A. *Hydrophilus piceus* at Deal; and a seldom noticed? habit of the larva. *Entomologist's Mon. Mag.*, 1956, vol. 92, pp. 153.
5. Pirisinu Q., Spinelli G., Bicchierai M. C. Stridulatory apparatus in the Italian species of the genus *Laccobius erichson* (Coleoptera : Hydrophilidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 1988, vol. 17, iss. 2, pp. 95–101.
6. Dumortier B. Morphology of sound emission apparatus in Arthropoda. In: *Acoustic Behavior of Animals*. Amsterdam, Elsevier Publ., 1963, pp. 277–345.
7. Zhantiev R. D. *Bioakustika nasekomykh* [Bioacoustics of Insects]. Moscow, Izd-vo MGU, 1981. 256 p. (in Russian).
8. Ryker L. C. *The role of acoustical signals in the communicative behavior of the water scavenger beetles, Tropisternus (Coleoptera: Hydrophilidae)*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Philos.). Oregon State University, 1976. 153 p.
9. Van Tassell E. R. An audiospectrographic study of stridulation as an isolating mechanism in the Genus *Berosus* (Coleoptera: Hydrophilidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 1965, vol. 58, pp. 407–413.
10. Aiken R. B. Sound production by aquatic insects. *Biological Reviews*, 1985, vol. 65, pp. 163–211.
11. Heller K. G., Helversen D. von. Acoustic communication in phaneropterid bushcrickets: Species-specific delay of female stridulatory response and matching male sensory time window. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1986, vol. 18, iss. 3, pp. 189–198.
12. Gilub V. B., Tsurikov M. N., Prokin A. A. *Kolleksii nasekomykh: sbor, obrabotka i khraneniye materiala* [Insect collections: Collection, processing and storage of material]. Moscow, Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2012. 339 p. (in Russian).
13. Rodionova E. Yu., Sazhnev A. S. The use of a consider microphone for the study of stridulation of aquatic and semi-aquatic. *63rd International Scientific Conference for Students of Physics and Natural Sciences, Vilnius, Lithuania, 17–20 March, 2020*. Vilnius, 2020, pp. 547.
14. Ryker L. C. Acoustic behavior of *Tropisternus ellipticus*, *T. columbianus* and *T. lateralis* in western Oregon (Coleoptera: Hydrophilidae). *The Coleopterists Bulletin*, 1976, vol. 30, pp. 147–156.

Поступила в редакцию 05.05.21, после рецензирования 10.05.21, принята к публикации 12.05.21
Received 05.05.21, revised 10.05.21, accepted 12.05.21