

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТОРА БАЙЕСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВИДОВ *CULEX PIFIENS* И *CULEX TORRENTIUM*
(DIPTERA: CULICIDAE) ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ
ХАРАКТЕРИСТИКАМ КРЫЛА**

© А. В. Разыграев,^{1*} Т. М. Шулешко²

¹ Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия
ул. Проф. Попова, 14, лит. А, С.-Петербург, 197376

² Институт зоологии Республики Молдова
ул. Академическая, 1, Кишинев, MD-2028

* E-mail: a.v.razygraev@gmail.com

Поступила 03.03.2018

При работе со сборами кровососущих комаров из Саблинских пещер (Ленинградская обл.) применен вероятностный подход для морфометрического определения видов *Culex pipiens* L., 1758 и *C. torrentium* Martini, 1925. В целях видовой диагностики использовался индекс $r_{(2+3)} / r_3$, рассчитываемый по расстояниям между точками ветвления радиальных жилок и местом прикрепления к краю крыла жилки r_3 . Распределение данного индекса для самок *C. pipiens pipiens/torrentium* из Саблинских пещер характеризуется 2 максимумами, совпадающими с максимумами распределений, выявленных ранее для германских популяций *C. p. pipiens* и *C. torrentium*. Большой максимум лежит в области значений индекса, характерных для *C. p. pipiens*. Предлагается применять фактор Байеса (BF), исходя из установленных ранее параметров распределений, для выделения из группы тех самок, принадлежность которых к *C. p. pipiens* наиболее вероятна. В исследованной выборке для 72.5 % особей фактор Байеса составил более 10, что является сильным или очень сильным свидетельством в пользу их принадлежности именно к *C. p. pipiens*. Для 16.5 % особей BF был более 0.1 или менее 10 (умеренно положительные и слабые свидетельства в пользу одного из двух видов). Для 11 % особей BF был менее 0.1, что является сильным и очень сильным свидетельством в пользу *C. torrentium*. Отбирая экземпляры *C. p. pipiens*, для большей видовой определенности предпочтение следует отдавать экземплярам с наиболее высокими значениями BF.

Ключевые слова: Culicidae, *Culex pipiens pipiens*, *Culex torrentium*, морфометрия, фактор Байеса.

Состав комплекса видов кровососущих комаров '*Culex pipiens*' дискуссионен. Например, С. Сириванакарн (Sirivanakarn, 1976) в составе подгруппы 'Pipiens' подрода *Culex* L., 1758 рассматривает виды *Culex pipiens* L., 1758, *C. quinquefasciatus* Say, 1823, *C. australicus* Dobrotworsky et Drum-

mond, 1953 и *C. globocoxitus* Dobrotworsky, 1953. Другие авторы в состав комплекса видов '*Culex pipiens*' включают также *Culex torrentium* Martini, 1925 (Becker et al., 2012).

Все виды комплекса '*Culex pipiens*' надежно диагностируются по признакам генитального аппарата самцов, в то время как достоверное определение видов по самкам встречает серьезные затруднения (Dobrotworsky, 1967; Dahl, 1988; Виноградова, 1997). Широко распространенный вид комплекса '*Culex pipiens*' — *C. pipiens* — включает 2 подвида: *C. p. pipiens*, распространенный в Старом и Новом Свете, и *C. pipiens pallens* Coquillett, 1898, распространенный локально в Азии и Северной Америке (WRBU). На территории России *C. p. pipiens* распространен повсеместно, за исключением арктической и субарктической зон, а в европейской части страны в ряде биотопов может быть массовым видом. Помимо этого номинативный подвид *C. p. pipiens* L., 1758 имеет 2 биотипа, или экоформы: природный (орнитофильный, диапаузирующий, неавтогенный и эвригамный) и биотип '*molestus*' (Forsk., 1775) (антропофильный, недиапаузирующий, автогенный и стеногамный) (Harbach et al., 1984; Becker et al., 2010).

Culex torrentium — вид, близкий к *C. p. pipiens*, надежно отличается лишь по строению генитального аппарата самцов, тогда как самки морфологически практически идентичны (Service, 1968; Dahl, 1988). Между данными видами возможна гибридизация в лабораторных условиях, но с получением стерильного потомства. В природе гибриды выявлены не были (Виноградова, 1997).

Распространение обоих видов в Палеарктике симпатричное, но северные и южные границы распространения *C. torrentium* точно не установлены. *C. torrentium* отмечен в европейской части России и в Западной Сибири (Гуцевич и др., 1970; Fedorova, Shaikevich, 2007), был найден, в частности, в Ленинградской обл. (Халин, Айбулатов, 2019). Особенности образа жизни *C. torrentium* сходны с таковыми природного биотипа *C. p. pipiens* — это тоже неавтогенный, эвригамный и диапаузирующий вид (Jensen, 1987). Недавние исследования показали, что *C. torrentium*, ранее считавшийся орнитофильным видом, способен питаться на человеке и других млекопитающих (Börstler et al., 2016). Исследование фауны кровососущих комаров в европейских странах молекулярными методами показало доминирование *C. torrentium* над *C. p. pipiens* в северных странах, хотя в 1960-х годах вид считался редким (Hesson et al., 2014). Способность *C. torrentium* переносить вирусы группы Синдбис, а также высокая численность данного вида в северных европейских странах, предполагают его участие в качестве переносчика во время вспышек арбовирусных инфекций в Швеции (Болезнь Окельбо), Финляндии (болезнь Погоста) и России (Карельская лихорадка) (Lundström et al., 1990; Lundström, 1999). Одним из возможных объяснений большего обилия *C. torrentium* в северных европейских странах считается его способность производить меньшее количество поколений в год по сравнению с *C. p. pipiens*. Наблюдение за поведением лабораторных колоний *C. torrentium* в Швеции выявило способность вида питаться на прокормителе и откладывать яйца только в период с мая до середины июля, тогда как репродуктивная активность и кровососание *C. p. pipiens* наблюдались круглый год. Способность *C. torrentium* питаться

ся на прокормителе и откладывать яйца только в течение 2—2.5 мес., соответствующих началу непродолжительного теплого сезона в северных широтах, позволяет понять, почему обилие и встречаемость *C. torrentium* понижается по мере увеличения длины вегетационного периода с севера на юг (Hesson et al., 2014).

Culex torrentium характеризуется большей восприимчивостью к вирусам группы Синдбис и вирусу Западного Нила, чем *C. p. pipiens* (Hesson et al., 2015; Leggewie et al., 2016). В связи с этим актуальна разработка доступных способов быстрого разделения самок *C. p. pipiens* и *C. torrentium*, отловленных в природе. Быстрое и надежное определение данных видов по самкам может позволить детальнее изучить особенности их экологии и фенологии.

Пути решения проблемы определения самок *C. pipiens* и *C. torrentium* по морфологическим признакам предлагаются с давних пор. Они основаны, в частности, на морфометрических различиях в жилковании крыльев данных видов, которые, однако, носят вероятностный характер (Natvig, 1948; Ribeiro, Ramos, 1999). Попытка разделить популяции *C. p. pipiens* и *C. torrentium* из Московской обл. по соотношению расстояний между ответвлениями радиальных жилок крыла $r_2 / r_{(2+3)}$ была предпринята ранее (Fedorova, Shaikevich, 2007). Данный подход был применен и статистически доработан в недавних исследованиях (Börstler et al., 2014), которые показали различающиеся распределения индекса $r_{(2+3)} / r_3$, рассчитываемого по соотношению расстояний между ответвлениями радиальных жилок r_{2+3} и r_3 , для самок *C. pipiens* и *C. torrentium*, хорошо соответствующие нормальному распределению для обоих видов. Таким образом, мы располагаем априорной информацией о данном индексе, полученной на германских популяциях комаров — 2 нормальными распределениями (гипотезами) с известными параметрами (Börstler et al., 2014). Эта информация может быть применена для вероятностной видовой идентификации отловленных в природе взрослых самок *C. p. pipiens / torrentium* с применением фактора Байеса, представляющего собой соотношение вероятностей одного и того же наблюдения внутри конкурирующих гипотез (Kass, Raftery, 1993).

Цель настоящей работы — охарактеризовать видовой состав группы самок *C. p. pipiens / torrentium*, зимующих в Саблинских пещерах Ленинградской обл., с использованием вероятностного подхода. Для этого была поставлена задача описать распределение частот встречаемости значений индекса $r_{(2+3)} / r_3$ среди самок, относящихся к *C. p. pipiens* или *C. torrentium*, и проверить его на неоднородность. Второй задачей было рассчитать фактор Байеса для каждого полученного значения $r_{(2+3)} / r_3$ и сделать выводы о возможности получения сильных свидетельств в пользу принадлежности отдельных особей к *C. p. pipiens* или *C. torrentium*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор зимующих самок кровососущих комаров проводился в Саблинских пещерах (59°40′01.7″ N; 30°48′06.2″ E), расположенных в Тосненском р-не Ленинградской обл. России, в период с 18 октября по 29 ноября

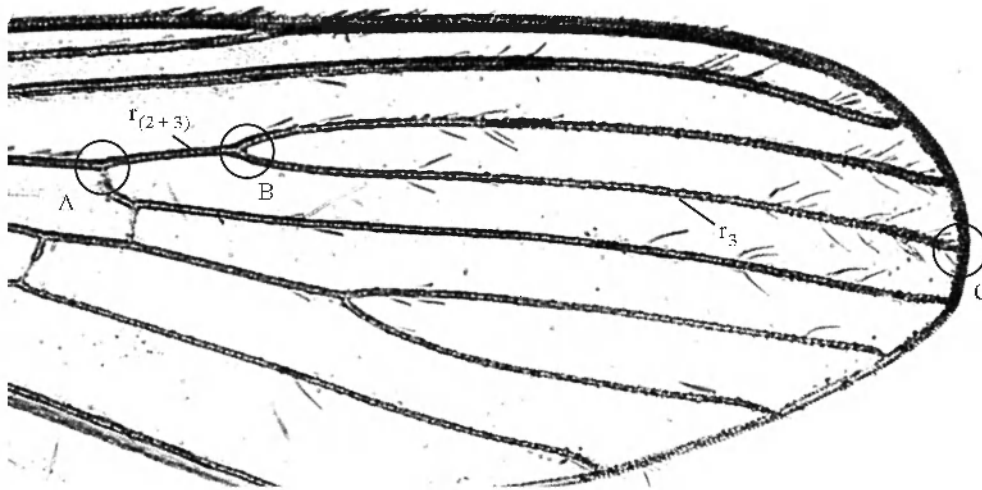


Рис. 1. Дистальная часть крыла *C. p. pipiens / torrentium* с расположением радиальных жилок $r_{(2+3)}$ и r_3 . Кружками обведены места ветвления жилок, между которыми измерялись расстояния. Большинство чешуек удалено при препарировании крыла.

Fig. 1. *C. p. pipiens / torrentium* distal wing part with the localization of the radial wing veins $r_{(2+3)}$ and r_3 . The landmarks, between which the distance was measured, are indicated with open circles. Most of the scales were removed during the preparation of the wing.

2017 г. Насекомые, находящиеся в состоянии оцепенения, были собраны со стен пещер с использованием полимерных пробирок и транспортированы в лабораторию. Определение проводилось по стандартным ключам (Гуцевич и др., 1970; Becker et al., 2010). У каждой особи, морфологически определенной как *C. p. pipiens / torrentium*, оба крыла были отделены микрохирургическими ножницами, после чего изготавливались временные препараты в глицерине. Препарированные крылья фотографировались под световым микроскопом «Leica DM5000B» с помощью видеокамеры «Leica DFC320». Замеры расстояний между точками разветвления $r_{(2+3)}$ и местом прикрепления к краю крыла жилки r_3 (рис. 1, расстояния между точками А и В для $r_{(2+3)}$ и между точками В и С для r_3) проводились на левом и правом крыле с помощью графического редактора Corel Draw X6. У 9 из 36 экз. была возможность измерить только одно крыло; тогда особь характеризовалась в дальнейшем по одному крылу. При этом исходили из предположения, что направленная асимметрия признака $r_{(2+3)} / r_3$ в исследуемой группе отсутствует.

Форму распределения величины $r_{(2+3)} / r_3$ оценивали в программной среде R (версия 3.4.0) (R Core Team, 2017) с использованием гистограммы распределения частот (величина интервалов — 0.02), соответствие нормальному закону оценивали методом Шапиро—Уилка. Для вычисления фактора Байеса была использована априорная информация из работы (Börstler et al., 2014), полученная для морфометрической характеристики крыла исследуемых видов, определенных молекулярными методами. Согласно этой работе, распределения величин $r_{(2+3)} / r_3$ описываются кривыми нормального распределения со средними значениями и стандартными отклонениями ($M \pm SD$), равными 0.185 ± 0.028 и 0.289 ± 0.029 для *C. pipiens* ($n = 162$) и *C. torrentium* ($n = 89$) соответственно. Как видно, объемы выбо-

рок в работе (Börstler et al., 2014) были пригодны для достаточно точного описания параметров распределений.

С использованием среды R для каждого значения $r_{(2+3)} / r_3$ в нашей выборке (среднего по двум крыльям, если замеры проведены билатерально) вычисляли плотность вероятности в распределениях для *C. p. pipiens* и *C. torrentium*:

$$\text{dnorm}(x, \text{mean} = 0.185, \text{sd} = 0.028)$$

$$\text{dnorm}(x, \text{mean} = 0.289, \text{sd} = 0.029),$$

где x — $r_{(2+3)} / r_3$.

Фактор Байеса (BF_{01}) описывается отношением $P(x|H_0) / P(x|H_1)$, где H_0 и H_1 — гипотезы *C. p. pipiens* и *C. torrentium* соответственно. Несмотря на то что *C. p. pipiens*, по литературным данным, считается обильным в Ленинградской обл., точных современных сведений о численности и распространении *C. torrentium* нет и соотношение 2 видов, диапаузирующих в пещерах, неизвестно. Соответственно H_0 и H_1 априорно равновероятны. $P(x|H_0)$ и $P(x|H_1)$ — вероятности значения $r_{(2+3)} / r_3$ для видов *C. p. pipiens* и *C. torrentium* соответственно, численно равные плотности вероятности для наблюдения $r_{(2+3)} / r_3$ в каждом из двух распределений. BF_{01} для наблюдения $r_{(2+3)} / r_3$ рассчитывался делением соответствующей плотности вероятности в распределении для *C. p. pipiens* на соответствующую плотность вероятности в распределении для *C. torrentium*:

$$\text{dnorm}(x, \text{mean} = 0.185, \text{sd} = 0.028) / \text{dnorm}(x, \text{mean} = 0.289, \text{sd} = 0.029).$$

Значения BF_{01} более 0.33 и менее 3 интерпретировались как слабое свидетельство (anecdotal evidence) в пользу *C. torrentium* и *C. p. pipiens* соответственно (отсутствие свидетельства — $BF_{01} = 1$). Значения BF_{01} более 3 и менее 0.33 интерпретировались как положительные свидетельства в пользу *C. p. pipiens* и *C. torrentium* соответственно. Очень сильные положительные свидетельства в пользу *C. p. pipiens* представлены $BF_{01} > 100$, а для *C. torrentium* — $BF_{01} < 0.001$ (Jarosz, Wiley, 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Саблинских пещерах нами были обнаружены следующие виды кровососущих комаров: *C. p. pipiens / torrentium*, *Culex territans* (Walker, 1856) и *Culiseta annulata* (Schrank, 1776). Наибольшим числом экземпляров характеризовался *C. p. pipiens / torrentium*, представленный только самками. При отделении самок *C. p. pipiens / torrentium* от *C. territans* на 36 экз. *C. p. pipiens / torrentium* обнаружено 3 экз. *C. territans*.

Полученное распределение частот значений индекса $r_{(2+3)} / r_3$ для *C. p. pipiens / torrentium* имеет статистически значимое отклонение от нормального распределения ($p = 0.0266$, метод Шапиро—Уилка), что косвенно подтверждает его неоднородность. При графической визуализации (рис. 2) распределение характеризуется двумя максимумами: больший максимум совпадает с максимумом распределения, полученного для *C. p. pipiens* в работе (Börstler et al., 2014), меньший максимум совпадает с максимумом

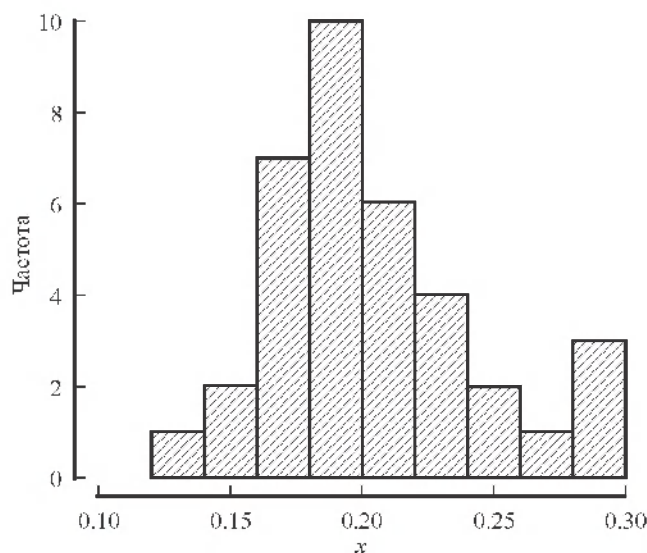


Рис. 2. Частотная гистограмма распределения индекса $r_{(2+3)}/r_3$ (x) у самок *C. p. pipiens / torrentium*. Частота представлена абсолютным количеством особей.

Fig. 2. Frequency histogram of the $r_{(2+3)}/r_3$ indices (x) distribution for *C. p. pipiens / torrentium* females. Frequency measure is for absolute counts.

распределения, полученного для *C. torrentium* в той же работе. Это позволяет предполагать, что индекс достаточно стабилен в разных частях ареалов *C. p. pipiens* и *C. torrentium*.

Наложение полученных нами значений индекса $r_{(2+3)}/r_3$ на графики нормальных распределений признака $r_{(2+3)}/r_3$, построенные для германских *C. p. pipiens* и *C. torrentium*, показало, что большинство экземпляров из Саблинских пещер оказались сгруппированы у вершины распределения для *C. pipiens* и лишь 3 экз. (визуально с отрывом от основной части значений) оказались явно на вершине распределения для *C. torrentium* (рис. 3). В исследованной нами выборке для 55.5 % ($n = 20$) экземпляров фактор Байеса (BF_{01}) составил более 100, что является очень сильным свидетельством в пользу *C. p. pipiens*; при этом максимальное значение BF_{01} составило 173 257. Для 17 % особей ($n = 6$) BF_{01} был больше 10, но меньше 100 — сильное свидетельство в пользу *C. p. pipiens*. Умеренно положительное свидетельство в пользу *C. p. pipiens* — $10 > BF_{01} > 3$ — получило 5.5 % особей ($n = 2$). Слабое свидетельство (anecdotal evidence) в пользу одного из двух видов было получено для 5.5 % особей ($n = 2$), для которых значения BF_{01} лежат в диапазоне 0.33—3. Умеренное свидетельство в пользу *C. torrentium* было получено для 5.5 % особей ($n = 2$), их значения BF_{01} находятся в диапазоне 0.1—0.33. Сильное свидетельство в пользу *C. torrentium* было получено для 3 % особей ($n = 1$) со значением BF_{01} между 0.1 и 0.01. Очень сильное свидетельство в пользу *C. torrentium* со значениями $BF_{01} < 0.01$ получило 8 % экз. ($n = 3$) (минимальное значение BF_{01} в группе составило 0.0008).

Таким образом, статистически подтверждается предположение о том, что самки *C. p. pipiens / torrentium*, собранные в Саблинских пещерах в период с 18 октября по 29 ноября 2017 г., — это преимущественно *C. p. pipi-*

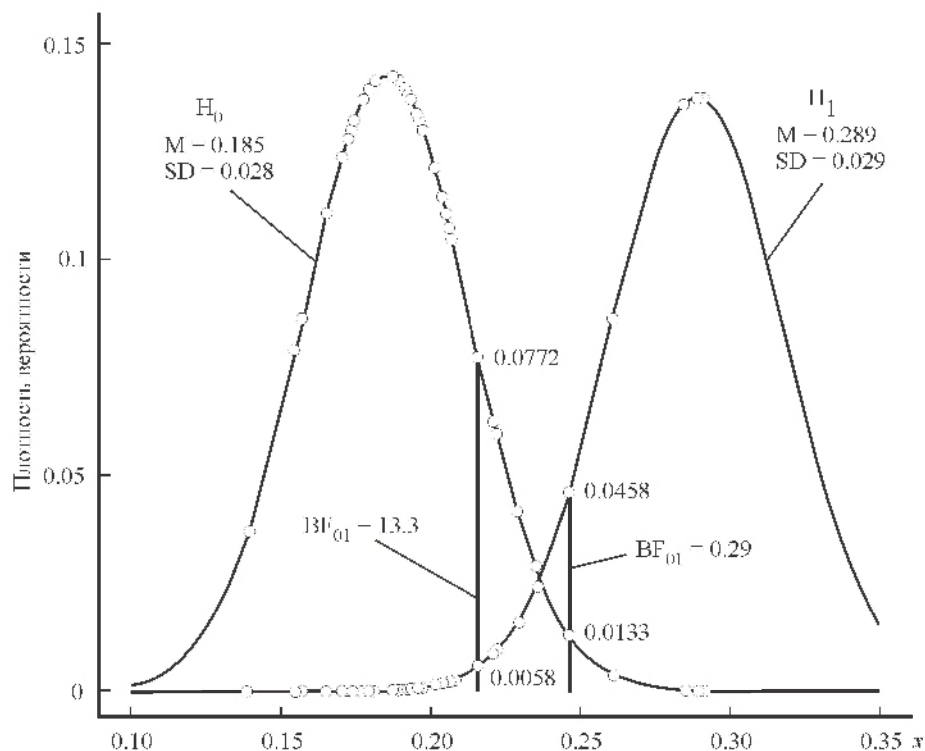


Рис. 3. Вероятности значений индекса $r_{(2+3)} / r_3 (x)$, полученных для 36 самок *C. p. pipiens* / *C. torrentium*, при справедливости гипотез *C. p. pipiens* (H_0) и *C. torrentium* (H_1) с двумя примерами расчета BF_{01} как отношения между плотностями вероятностей при гипотезах H_0 и H_1 . Параметры нормальных распределений взяты из работы Börstler et al., 2014.

Fig. 3. Probabilities of the $r_{(2+3)} / r_3$ indices (x) obtained for 36 *C. p. pipiens* / *C. torrentium* females within hypotheses *C. p. pipiens* (H_0) and *C. torrentium* (H_1) with two examples of calculating BF_{01} as the relationship between probability densities within hypotheses H_0 and H_1 . The normal distribution parameters were taken from Börstler et al., 2014.

ens. Сильное свидетельство для некоторых особей в пользу *C. torrentium* хоть и не доказывает, но делает вероятным присутствие этого вида на зимовке в пещерах. Учитывая полученные данные о географическом распространении *C. torrentium* в Северной Европе, о его обилии в Финляндии (Hesson et al., 2014) и недавние находки вида в Ленинградской обл. (Халин, Айбулатов, 2019), присутствие *C. torrentium* в Тосненском р-не Ленинградской обл. вполне вероятно.

Данное исследование является примером вероятностной оценки видового состава группы комаров, имеющей априорную вероятность быть состоящей из 2 близких видов. Исследования с применением данного подхода могут помочь отслеживать сезонную и многолетнюю динамику видового состава без привлечения дорогостоящих молекулярных методов для определения самок *C. p. pipiens* и *C. torrentium*. Существование индивидуальной изменчивости по морфометрическому признаку жилкования крыла препятствует точному определению принадлежности отдельных особей к тому или иному виду, и, как следствие, для каждого индивидуального значения необходимо сравнение его вероятности внутри гипотезы о *C. p. pipi-*

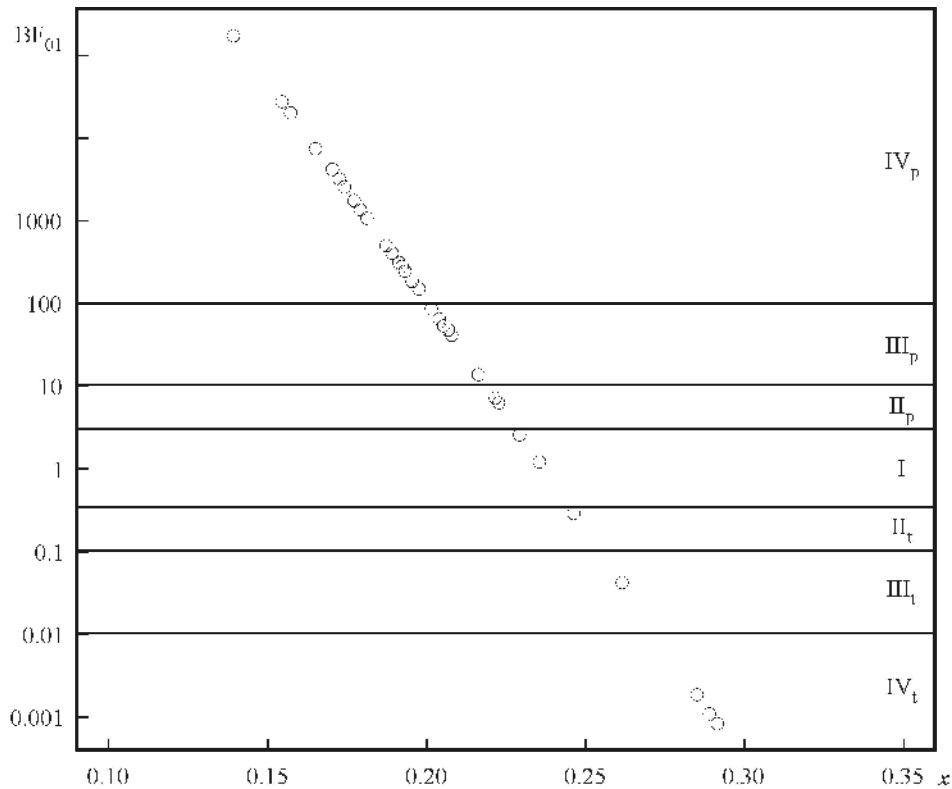


Рис. 4. Значения фактора Байеса (BF_{01}) для индекса $r_{(2+3)} / r_3 (x)$, полученные для выборки из 36 самок *C. p. pipiens / torrentium*. IV_p , III_p и II_p — очень сильное, сильное и умеренно положительное свидетельства соответственно в пользу гипотезы *C. p. pipiens* (H_0); IV_t , III_t и II_t — очень сильное, сильное и умеренно положительное свидетельства в пользу гипотезы *C. torrentium* (H_1); I — слабое свидетельство (anecdotal evidence) в пользу одного из двух видов.

Fig. 4. Bayes factor (BF_{01}) values for the $r_{(2+3)} / r_3$ index (x) obtained for 36 *C. p. pipiens / torrentium* females. IV_p , III_p and II_p — very strong, strong and moderately positive evidence in favor of the hypothesis *C. p. pipiens* (H_0), respectively; IV_t , III_t and II_t — very strong, strong and moderately positive evidence in favor of the hypothesis *C. torrentium* (H_1), respectively; I — weak (anecdotal) evidence in favor of one of the two species.

ens с его вероятностью внутри гипотезы о *C. torrentium*. Выражением такого сравнения и является фактор Байеса.

Использование фактора Байеса в том простейшем виде, в котором оно представлено в настоящей работе, и с учетом того распределения, которое было получено (рис. 2), мы предлагаем лишь для уверенной идентификации *C. p. pipiens*. Чем меньше индекс $r_{(2+3)} / r_3$ (и соответственно, чем выше BF_{01}), тем больше основание для уверенности в принадлежности экземпляра к *C. p. pipiens* (рис. 4). Мы априорно полагали, что гипотезы H_0 и H_1 равновероятны, но, по возможности, следует учитывать информацию о численности и распространении видов в регионах. На наш взгляд, следует воздержаться от уверенной диагностики *C. torrentium* данным способом, если вид достаточно редок в регионе, или ранее не обнаруживался. Следует учитывать, что обилие *C. p. pipiens* означает неременное наличие небольшой фракции его морфометрически aberrantных форм, которая коли-

чественно может оказаться сопоставимой с численностью *C. torrentium*, и они будут ошибочно идентифицироваться как *C. torrentium*. В таких случаях при выявлении *C. torrentium* фактором Байеса далее следует провести молекулярную идентификацию соответствующих самок комаров (т. е. имеющих низкие значения BF_{01}) или получить потомство от них для точной видовой идентификации по гениталиям самцов.

Молекулярные методы идентификации и выведение взрослых комаров из кладок яиц могут быть использованы для получения априорной информации о пропорции между *C. p. pipiens* и *C. torrentium* в конкретном биотопе. После получения достаточной априорной информации об исходном соотношении между *C. p. pipiens* и *C. torrentium* в конкретном биотопе ($P(H_0) / P(H_1)$) для вероятностной идентификации отловленных взрослых особей можно рекомендовать использовать соотношение $P(H_0|x) / P(H_1|x)$:

$$P(H_0|x) / P(H_1|x) = P(x|H_0) / P(x|H_1) \times P(H_0) / P(H_1).$$

В этой ситуации возможна уверенная идентификация *C. torrentium* с использованием вероятностного подхода.

Также, по нашему мнению, самок следует считать принадлежащими к *C. p. pipiens* при значении BF_{01} не менее 10, поскольку рассчитывается он на основании вероятностных распределений, полученных для германских *C. pipiens* и *C. torrentium*, т. е. сравнительно удаленных европейских популяций этих видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самки видов *C. pipiens* и *C. torrentium* трудноразличимы между собой и имеют перекрывающиеся диапазоны значений индекса $r_{(2+3)} / r_3$, рассчитываемого по расстояниям между точками ветвления радиальных жилок и местом прикрепления к краю крыла жилки r_3 . При наличии охарактеризованных распределений индекса $r_{(2+3)} / r_3$ из работы (Börstler et al., 2014) предлагается алгоритм вероятностного определения видовой принадлежности самок *Culex pipiens / torrentium*, состоящий из следующих этапов: а) отлов нескольких десятков особей и оценка формы распределения с определением положения максимумов — совпадают ли они с максимумами распределений для *C. pipiens* и *C. torrentium* из работы (Börstler et al., 2014); б) при положительном ответе — идентификация отдельных особей с расчетом фактора Байеса с использованием априорной информации о параметрах распределений признака $r_{(2+3)} / r_3$ для *C. pipiens* и *C. torrentium*, взятой из той же работы (Börstler et al., 2014); в) в случае большего максимума в области значений, характерных для *C. pipiens*, — отбор самок, наиболее обоснованно считающихся *C. pipiens* (т. е. с высоким BF_{01}), для решения дальнейших исследовательских задач, поставленных для изучения этого вида. Данный алгоритм предлагается использовать при отсутствии возможности определить отловленных самок молекулярными методами и при отсутствии априорной информации о соотношении между *C. p. pipiens* и *C. torrentium* в интересующем биотопе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны кандидату биологических наук А. В. Халину и кандидату биологических наук С. В. Айбулатову (Зоологический институт РАН) за помощь в подготовке статьи.

Список литературы

- Виноградова Е. Б. 1997. Комары комплекса *Culex pipiens* России. СПб.: РАН. 307 с.
- Гуцевич А. В., Мончадский А. С., Штакельберг А. А. 1970. Комары. Семейство Culicidae. Фауна СССР. Насекомые двукрылые. Л.: Наука. 3 (4). 384 с.
- Халин А. В., Айбулатов С. В. 2019. Фауна кровососущих насекомых комплекса гнуса Северо-Западного региона России. III — Кровососущие комары (Culicidae). (Сдана в печать).
- Becker N., Jöst A., Weitzel T. 2012. The *Culex pipiens* complex in Europe. Journal of the American Mosquito Control Association. 28: 53—67.
- Becker N., Petric D., Zgomba M., Boase C., Dahl C., Lane J., Kaiser A. 2010. Mosquitoes and Their Control. 2nd ed. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 577 p.
- Börstler J., Lühken R., Rudolf M., Steinke S., Melaun C., Becker S., Garms R., Krüger A. 2014. The use of morphometric wing characters to discriminate female *Culex pipiens* and *Culex torrentium*. Journal of Vector Ecology. 39 (1): 204—212.
- Börstler J., Jöst H., Garms R., Krüger A., Tannich E., Becker N., Schmidt-Chanasit J., Lühken R. 2016. Host-feeding patterns of mosquito species in Germany. Parasites & Vectors. 9 (1): 318.
- Dahl C. 1988. Taxonomic studies on *Culex pipiens* and *C. torrentium*. In: Service MW, ed. Biosystematics of haematophagous insects. Oxford Systematics Association. 37: 149—175.
- Dobrotworsky N. V. 1967. The problem of the *Culex pipiens* complex in the South Pacific (including Australia). Bulletin of the World Health Organization. 37: 251—255.
- Fedorova M. V., Shaikevich E. V. 2007. Morphological and molecular-genetic distinctions between adult mosquitoes *Culex torrentium* Martini and *C. pipiens* Linnaeus (Diptera, Culicidae) from Moscow Province. Entomological Review. 87: 127—135.
- Harbach R. E., Harrison B. A., Gad A. M. 1984. *Culex (Culex) molestus* Forskal (Diptera: Culicidae): neotype designation, description, variation, and taxonomic status. Proceeding of the Entomological Society of Washington. 86: 521—542.
- Hesson J. C., Rettich F., Merdic E., Vignjevic G., Ostman O., Schäfer M., Schaffner F., Foussadier R., Besnard G., Medlock J., Scholte E. J., Lundström J. O. 2014. The arbovirus vector *Culex torrentium* is more prevalent than *Culex pipiens* in northern and central Europe. Medical and Veterinary Entomology. 28: 179—186.
- Hesson J. C., Verner-Carlsson J., Larsson A., Ahmed R., Lundkvist A., Lundström J. O. 2015. *Culex torrentium* mosquito role as major enzootic vector defined by rate of Sindbis virus infection, Sweden, 2009. Emerging Infectious Diseases. 21: 875—878.
- Jaenson T. G. 1987. Overwintering of *Culex* mosquitoes in Sweden and their potential as reservoirs of human pathogens. Medical and Veterinary Entomology. 1 (2): 151—156.
- Jarosz A. F., Wiley J. 2014. What are the odds? A practical guide to computing and reporting Bayes factors. Journal of Problem Solving. 7: 2—9.
- Kass R. E., Raftery A. E. 1995. Bayes factors. Journal of the American Statistical Association. 90 (430): 773—795.
- Leggewie M., Badusche M., Rudolf M., Jansen S., Börstler J., Krumkamp R., Huber K., Krüger A., Schmidt-Chanasit J., Tannich E., Becker S. C. 2016. *Culex pipiens* and *Culex torrentium* populations from Central Europe are susceptible to West Nile virus infection. One Health. 2: 88—94.

- Lundström J. O., Niklasson B., Francy D. B. 1990. Swedish *Culex torrentium* and *C. pipiens* (Diptera: Culicidae) as experimental vectors of Ockelbo virus. *Journal of Medical Entomology*. 27: 561—563.
- Lundström J. O. 1999. Mosquito-borne viruses in Western Europe: a review. *Journal of Vector Ecology*. 24: 1—39.
- Natvig L. R. 1948. Contributions to the knowledge of the Danish and Fennoscandian mosquitoes. Culicini. *Norsk Entomologisk Tidsskrift*. Suppl. 1: 1—567.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ribeiro H., Ramos H. C. 1999. Identification Keys of the Mosquitoes (Diptera, Culicidae) of Continental Portugal, Açores and Madeira. *European Mosquito Bulletin* (United Kingdom). 3: 1—11.
- Service M. W. 1968. The taxonomy and biology of two sympatric sibling species of *Culex*, *C. pipiens* and *C. torrentium* (Diptera: Culicidae). *Journal of Zoology*. 156: 313—323.
- Sirivanakarn S. 1976. Medical entomology studies — III. A revision of the subgenus *Culex* in the Oriental Region (Diptera: Culicidae). *Contributions of the American Entomological Institute*. 12 (2): 1—272.
- WRBU (Walter Reed Biosystematics Unit), <http://mosquitocatalog.org/>, дата обращения — март 2018 г.

THE USE OF BAYES FACTOR FOR THE IDENTIFICATION
OF *CULEX PIPPIENS* AND *CULEX TORRENTIUM* (DIPTERA: CULICIDAE)
BY MORPHOMETRIC WING CHARACTERS

A. V. Razygraev, T. M. Sulesco

Key words: Culicidae, *Culex pipiens pipiens*, *Culex torrentium*, morphometry, Bayes Factor.

SUMMARY

The probabilistic approach was applied for species identification of *Culex pipiens pipiens* / *torrentium* mosquito females collected in the Sablino caves (Leningrad Region). The distances between landmarks of the radial wing veins $r_{(2+3)}$ and r_3 were measured and the frequency distribution of the $r_{(2+3)} / r_3$ wing vein index was analyzed. The obtained distribution characterized by two maxima coinciding with distribution maxima obtained earlier by other authors for German populations of *Culex pipiens pipiens* and *C. torrentium*. In the sample from Sablino caves, the most specimens grouped at the maximum of the *Culex pipiens* normal distribution. We propose to use the Bayes factor (BF) to select those mosquito females which most likely belong to *C. p. pipiens*. In the sample studied, the Bayes factor was more than 10 for 72.5 % of the specimens, which is strong or very strong evidence in favor of *C. p. pipiens*. For 16.5 % of individuals BF was more than 0.1 or less than 10 (moderately positive and weak evidence in favor of one of the two species). Overall, 11 % of the females obtained BF less than 0.1, which is strong or very strong evidence in favor of *C. torrentium*. Selecting the specimens belonging to *C. p. pipiens*, preference should be given to individuals with the highest BF values, for more reliable species identification.