

ЭКОЛОГИЯ

УДК 595.733:574.24:57.031

**ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЖИЛКОВАНИЯ КРЫЛА
У СТРЕКОЗ *ISCHNURA ELEGANS* (V.D. LIND.)
(ODONATA, COENAGRIONIDAE) И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЕЕ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНДИКАТОРА
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ****Г.И. Рязанова, А.С. Полыгалов***(кафедра энтомологии; e-mail: RyazanovaGI@mail.ru)*

В целях биоиндикации среды в 2010—2011 гг. изучена флуктуирующая асимметрия (ФА) жилкования крыльев пяти популяций равнокрылой стрекозы *Ischnura elegans* (V.d. Lind.). Оценены ее сезонная и половая особенности. Обнаружено отсутствие корреляции разных характеристик ФА крыльев. Для объяснения разнонаправленных изменений ФА стрекоз изученных популяций под влиянием температурно-кислородного стресса 2010 г. предложена гипотеза дифференцированной смертности особей с расшатанной стабильностью развития. Поставлена под сомнение возможность использования ФА в настоящее время в качестве инструмента биомониторинга экологического состояния водоемов.

Ключевые слова: *стрекозы, флуктуирующая асимметрия, стресс, биоиндикация.*

Флуктуирующая асимметрия (ФА) — это незначительные и ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов, являющиеся итогом стохастических микроскопических процессов. Возрастание величины случайной изменчивости развития является, видимо, следствием нарушения стабильности индивидуального развития в целом. Изучение ФА открывает возможности для оценки онтогенетических механизмов эволюционных преобразований [1—4]. Высказано мнение, что оценка ФА представляет собой простейший способ формализации степени отклонений природных популяций от нормы [5]. Показано, что ФА оказывается минимальной лишь при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях [6, 7].

Такая связь ФА с экзогенными стрессами кажется удобной для решения практических задач в области охраны природы (как метод биомониторинга) [1].

В настоящее время системы мониторинга поверхностных пресных вод претерпели существенные изменения. Основа этих изменений — переход от чисто химического контроля к биологическому. Концепция предельно допустимой концентрации (ПДК) в системе экологического контроля уступает место системе использования биотестов [5, 8].

Большинство современных методов биоиндикации состояния водоемов основано на анализе видового состава макрозообентоса. Этот метод требует серьезных предварительных региональных исследований для установления состава фауны и ее дина-

мики при различных изменениях среды. Биоиндикация же по ФА кажется весьма заманчивым и относительно простым методом.

Однако точки зрения разных исследователей на возможности использования флуктуирующей асимметрии как биоиндикатора среды различаются. Экспериментальные данные в области связи ФА со средовыми стрессами весьма ограничены. Работы такого рода проводят чаще всего на насекомых, а в отношении водной среды — на стрекозах. Наряду с мнениями, поддерживающими такое использование ФА, существуют обоснованные возражения.

В частности, описана связь средового стресса и ФА некоторых морфологических черт *Drosophila* [7]. Делали попытки использования ФА для измерения стрессового состояния личинок стрекоз [9], имаго стрекоз [10, 11], клопов-солдатиков (*Pyrrhocoris apterus* L.) [12]. В то же время результаты исследования, проведенного на взрослой поденке (*Hexagenia rigida*), позволяют полагать, что влияние загрязнения на ФА сложно определить в поле [13]. Показано, что уровень загрязнения среды инсектицидом не связан с ФА крыла у стрекоз [14]. На основании развернутых экспериментов высказано мнение, что общепринятое использование у дрозофилы ФА как индикатора средового стресса должно применяться с осторожностью [15]. Что касается ФА крыльев у стрекоз, то скупы и противоречивы также литературные данные о сезонной и половой ее специфике.

В настоящей работе мы предполагали решить ряд вопросов, связанных с проблемой использо-

вания ФА в биомониторинге среды, в частности оценить половые особенности ФА крыльев и особенности ее сезонной динамики у стрекоз *Ishnura elegans*, определить сравнительную ФА крыльев у избранного вида в разных водоемах в два разных сезона на фоне температурно-кислородного стресса 2010 г. и оценить возможность использования ФА стрекоз как биоиндикатора экологического состояния водоема.

Материалы и методы

Основное место работы — водоемы Москвы, что связано с продолжающимся циклом исследований по фауне мегаполиса. Для изучения флуктуирующей асимметрии (ФА) крыльев стрекоз был избран вид *Ischnura elegans* (Van der Linden), широко распространенный в Москве и обладающий высокой плотностью популяционных группировок [16]. Эти стрекозы в природе не разлетаются от места выплода далее 400 м [17].

В работе использовали водоемы, расположенные в разных районах города и удаленные друг от друга не менее чем на 10 км: оз. Бездонное (Серебряный бор), Борисовский пруд и Большой Очаковский пруд. Кроме московских водоемов работу проводили на двух прудах, расположенных в сельской местности близ дер. Машково и в дачном поселке Терра Жуковского р-на Калужской обл. Московские пруды в разной степени подверглись инженерным преобразованиям, находятся в районах города, имеющих разную степень атмосферного и автотранспортного загрязнения, загрязнения бытовыми и промышленными стоками.

Сбор имаго стрекоз у каждого водоема проводили в последнюю декаду июля и первую декаду августа 2010 и 2011 гг. Из крыльев стрекоз были изготовлены тотальные препараты, которые с использованием сканирования переведены в цифровой формат и все дальнейшие подсчеты проведены с экрана

компьютера. Измерения линейных величин крыла проводили с использованием компьютерной программы ImageJ 1.40g.

Подсчитывали число ячеек крыльев. От использования в исследовании длины целого крыла и отдельных его частей пришлось отказаться, поскольку наблюдающаяся ФА длины очень мала и не выходит за пределы технических ошибок измерения. Подсчет ячеек крыла проводили по схеме, предложенной в работе академика А.В. Яблокова с соавторами [18]; по отдельным полям крыла, ограниченным продольными жилками и имеющим название расположенной впереди жилки. Крыло содержит 13 таких полей, и в 11 из них обнаружена ФА с различием в числе ячеек на правом и левом крыле от 1 до 9. Всего описано около 1500 крыльев более 350 особей стрекоз.

Из изученных характеристик ФА мы остановились на частоте ее встречаемости — числе асимметричных пар (левое-правое) полей относительно их общего числа в рассмотренных крыльях, и на степени асимметрии — числе случаев различий в асимметричных полях только на одну или на большее число ячеек. Чем больше различий на 1 ячейку, тем меньше степень асимметрии.

Результаты и их обсуждение

Характер ФА крыльев самцов *Ischnura elegans* из популяции “Терра” за 2011 г. свидетельствует о том, что ФА жилкования крыльев этих стрекоз не зависит от времени вылета в сезоне (табл. 1). Самцы, вылетающие в начале летного сезона — в середине июля, имеют достоверно большие линейные размеры крыльев и большее число ячеек в них, чем самцы конца сезона — середины августа. Тем не менее ФА этих стрекоз остается неизменной.

Полученные данные о половых особенностях изученных характеристик ФА неоднозначны для разных водоемов (табл. 2). В Борисовском пруду не об-

Таблица 1

Характеристики крыла у стрекоз *Ishnura elegans* популяции пруда Терра в начале и в конце сезонного лета имаго

Характеристика крыльев	Выборка от 14.07.2012 (n)	Выборка от 13.08.2012 (n)	Достоверность различия выборок
Число асимметричных пар полей — частота ФА	129 (220)	96 (176)	$\chi^2 = 0,7$ $P > 0,05$
Число полей с асимметрией в 1 ячейку — степень ФА	94 (220)	70 (176)	$\chi^2 = 0$ $P > 0,05$
Среднее общее число ячеек в переднем крыле особи — $M \pm m$ (число особей)	$142,7 \pm 1,4$ (40)	$125,6 \pm 1,9$ (32)	$P < 0,001$ $t_{st} = 6,21, P < 0,001$
Среднее общее число ячеек в заднем крыле особи — $M \pm m$ (число особей)	$139,3 \pm 2,8$ (40)	$122,7 \pm 2,6$ (32)	$P < 0,001$ $t_{st} = 6,4, P < 0,001$
Длина переднего крыла в пикселях — $M \pm m$ (число особей)	$725,47 \pm 6,3$ (40)	$658,6 \pm 7,8$ (32)	$t_{st} = 6,7, P < 0,001$
Длина заднего крыла в пикселях — $M \pm m$ (число особей)	$680,2 \pm 6,0$ (40)	$615,1 \pm 6$ (32)	$t_{st} = 7,6, P < 0,001$

Примечание. n — общее число рассмотренных пар полей крыльев.

Таблица 2

**Флуктуирующая асимметрия крыла
у самцов и самок стрекоз *Ishnura elegans* разных водоемов**

Водоемы	Характеристика крыльев		Достоверность различий
Борисовский пруд	Число асимметричных пар полей (n)	самцы	286 (440)
		самки	288 (418)
	Из них с различием в 1 ячейку	самцы	188
		самки	172
Оз. Бездонное	Число асимметричных пар полей (n)	самцы	220 (396)
		самки	162 (286)
	Из них с различием в 1 ячейку	самцы	167
		самки	101
Большой Очаковский пруд	Число асимметричных пар полей (n)	самцы	97 (179)
		самки	151 (235)
	Из них с различием в 1 ячейку	самцы	70
		самки	92

Примечание. n — общее число рассмотренных пар полей.

наружено значимых половых различий ФА. В то же время в водоеме Серебряного бора самки и самцы, не различаясь по количеству асимметричных полей, значимо различаются по степени асимметрии: у самок она больше. Напротив, в Б. Очаковском пруду самки и самцы достоверно различаются по количеству асимметричных полей (у самок их больше), но не различаются достоверно по степени асимметрии. Эти противоречивые данные подчеркивают необходимость сравнительного изучения ФА стрекоз в пределах каждого пола раздельно. Для стрекоз *Lestes viridis* также было показано, что самки более асимметричны, чем самцы [19]. Интересно, что эти данные расходятся с данными, полученными для

дрозофил, где самцы всегда более чувствительны к стрессам и имеют большую ФА [15].

Изучаемые характеристики ФА у самцов стрекоз разных водоемов также не дают однозначных результатов. Если согласиться с существующим в литературе мнением, что ФА тем больше, чем более условия существования популяции отличны от оптимума, то в 2010 г. Борисовский пруд, судя по частоте встречаемости ФА, оказался достоверно хуже оз. Бездонного и Б. Очаковского пруда (табл. 3). В то же время таких отличий по ФА Борисовского пруда — наихудшего водоема из изученных московских — от сельских водоемов не обнаружено. Пруд в Машкове по показателям ФА, так же как и Борисовский, оказался достоверно худшим, чем водоем Серебряного бора и Б. Очаковский пруд. Однако характеристика прудов как места обитания стрекоз по степени ФА дает отличные

результаты. По этому признаку Борисовский пруд также хуже оз. Бездонного, но, не отличаясь от Б. Очаковского, достоверно хуже обоих сельских прудов.

Таким образом, даже всего две характеристики ФА не позволяют однозначно распределить места обитания стрекоз по степени приближенности к экологическому оптимуму.

Особенности метеорологических условий 2010 г. позволили нам оценить природный эксперимент со средовым стрессом, воздействующим на популяцию изучаемого вида. Июль и август 2010 г. отличались рекордно высокими температурами, а лето в целом — засухой. В прудах, за которыми мы вели наблюдение, сильно понизился уровень воды и под-

Таблица 3

**Особенности частоты встречаемости флуктуирующей асимметрии жилкования крыльев
у самцов стрекоз *Ishnura elegans* разных популяций в 2010 г.**

№	Водоемы	Число пар полей	Число асимметричных пар полей (%)	Достоверность различий*	Число полей с асимметрией в одну ячейку (%)	Достоверность различий
I	Борисовский пруд	440	286 (65)	(I—II) $\chi^2 = 7,8$ $P < 0,01$ (I—III) $\chi^2 = 6,3$ $P < 0,05$ (II—V) $\chi^2 = 4,1$ $P > 0,05$ (III—V) $\chi^2 = 4,0$ $P > 0,05$	188 (66)	(I—II) $\chi^2 = 6,2$ $P < 0,05$ (I—IV) $\chi^2 = 3,8$ $P = 0,05$ (I—V) $\chi^2 = 5,1$ $P < 0,05$
II	Серебряный бор	396	220 (56)		167 (76)	
III	Большой Очаковский пруд	179	97 (54)		70 (72)	
IV	Пруд Терра	157	90 (57)		69 (77)	
V	Пруд Машково	165	107 (65)		83 (78)	

*В таблице приведены только достоверные различия, рассчитанные по абсолютным величинам; % приведены для наглядности различий.

нялась ее температура, что привело к сокращению количества растворенного кислорода и увеличению концентрации растворенных вредных веществ. То, что этот стресс сильно повлиял на популяции изучаемого вида, подтверждает значительное сокращение численности имаго на следующий год.

В литературе показано, что у стрекоз асимметрия крыльев не изменяется при влиянии стресса на последние возрасты личинок [14, 21]. В нашем случае стресс не повлиял на ФА имаго 2010 г., так как под его воздействие попали только старшие возрасты личинок. Но в том же 2010 г. этот стресс влиял на имаго стрекоз в период гаметогенеза, на эмбриогенез и на ранние возрасты личинок. Очевидно, что его воздействие на ФА крыльев можно было бы ожидать в следующем сезоне 2011 г., когда эти личинки превратились во взрослых насекомых. Но в 2011 г., в отличие от 2010 г., ни частота встречаемости, ни степень ФА крыльев стрекоз в разных водоемах достоверно не различалась (табл. 4). Таким образом, после влияния среднего стресса на стрекоз ФА крыльев у разных популяций сблизились.

Мы ожидали обнаружить послестрессовое увеличение ФА крыльев стрекоз во всех пяти водоемах. Однако оказалось, что частота ее встречаемости имеет значимое увеличение только у стрекоз Серебряного бора ($\chi^2 = 4,7$, $P < 0,05$). Такого изменения степени ФА не наблюдали даже у стрекоз Серебряного бора. В остальных прудах произошли только небольшие и разнонаправленные изменения.

Единственное объяснение наблюдаемому явлению, которое мы можем предложить, основано на различной смертности особей с расшатанной стабильностью развития еще на стадии личинки в сложных условиях стресса. Гипотеза о дифференцированной смертности особей насекомых с нарушенной в разной степени стабильностью развития уже была высказана в литературе, хотя экспериментальных подтверждений этой гипотезы получить не удалось [22]. Нам она помогает понять вероятные механизмы парадоксальных изменений ФА стрекоз в разных водоемах

в связи со стрессом. Смертность особей с более расшатанной стабильностью развития в хороших экологических условиях Серебряного бора ниже, чем в других прудах, что приводит к повышению здесь частоты встречаемости ФА. В неблагополучных же водоемах такие особи не выживают, и относительное число их становится даже меньше. В итоге частота встречаемости ФА после стресса может упасть. Отсюда и сближение после стресса ФА крыльев у стрекоз Борисовского пруда и Серебряного бора.

Гипотеза дифференцированной смертности особей с расшатанной в разной степени стабильностью развития позволяет понять и наблюдаемую нами специфику половых различий ФА стрекоз. Не исключено, что существуют различия в смертности самок и самцов при одинаковой степени нарушения стабильности развития в зависимости от благоприятности среды. Как показано для дрозофилы [15], самцы более чувствительны к неблагоприятным условиям, их развитие легче поддается средовым нарушениям. При большей смертности самцов их остается меньше, чем самок с такой же ФА. В итоге ФА самок оказывается больше, чем у самцов.

Таким образом, две изученные характеристики ФА одной морфологической черты крыльев стрекоз (числа ячеек), очевидно, определяются многими факторами, если сильнейший кислородно-температурный стресс 2010 г. значимо не изменил общую ФА крыльев стрекоз в большинстве изученных водоемов. При этом на различные характеристики (частоту и степень), по-видимому, влияют разные факторы, так что они нередко заставляют делать противоположные выводы о степени близости условий обитания вида к оптимуму. Вероятно, ФА зависит от внешних влияний не столь прямо, как предполагают. Очевидно, непонимание механизмов ФА, которое существует в настоящий момент [22, 23], незнание, какие “стохастические микроскопические процессы” ее определяют, не дают возможности однозначно связывать ее со средовыми стрессами, тем более что у таких долго развивающихся насекомых,

Таблица 4

Флуктуирующая асимметрия жилкования крыльев у самцов стрекоз *Ishnura elegans* разных популяций в 2011 г.*

№	Водоемы	Число рассмотренных пар полей	Число асимметричных пар полей (%)	Число полей с асимметрией в одну ячейку (%)
I	Борисовский пруд	550	344 (62)	238 (69)
II	Серебряный бор	594	371 (62)	271 (73)
III	Большой Очаковский пруд	220	130 (59)	100 (77)
IV	Пруд Терра	373	235 (63)	164 (70)
V	Пруд Машково	132	81 (61)	56 (69)

*Достоверные различия между ФА водоемов не обнаружены, всегда $\chi^2 < 3,8$; $P > 0,05$.

как стрекозы, последствия стрессов окружающей среды отдалены от момента воздействия почти на год. Совершенно очевидно, что большую роль в понимании воздействия таких стрессов на ФА должно играть знание закономерностей дифференцированной смертности особей с разной степенью нарушения стабильности развития в отличающейся от оптимума среде обитания. Так что в области взаимодействия средовых стрессов и ФА крыльев стрекоз остается еще слишком много вопросов, что ставит под сомнение существующие предложения по использованию ФА стрекоз в качестве инструмента биомониторинга экологического состояния водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 216 с.
2. Захаров В.М. Здоровье среды. М.: Центр экологической политики России, 2000. 30 с.
3. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили Ф.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
4. Гелашвили Д.Б., Чупурнов Е.В., Иудин Д.И. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально-симметричных организмов // Журн. общ. биол. 2004. Т. 65. № 5. С. 433—441.
5. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Усп. совр. биол. 2002. Т. 122. № 2. С. 115—135.
6. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress // Heredity. 1992. Vol. 68. P. 361—364.
7. Trotta V., Calboli F.C.F., Garoia F., Grifoni D., Cavicchi S. Fluctuating asymmetry as a measure of ecological stress in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) // Eur. J. Entomol. 2005. N 102. P. 195—200.
8. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Минск: Орех, 2004. 124 с.
9. Chang X., Zhai B., Liu X., Wang M. Effects of temperature stress and pesticide exposure on fluctuating asymmetry and mortality of *Copera annulata* (Selys) (Odonata: Zygoptera) larvae // Ecotoxicol. and Environ. Safety. 2007. Vol. 67. N 1. P. 120—127.
10. Семенова В.Ф., Голуб В.Б. Результаты оценки состояния придонного слоя Воронежского водохранилища по показателям стабильности развития тест-объекта — стрекозы *Ischnura elegans* (Odonata, Coenagrionidae) // Проблемы водной энтомологии России и сопредельных стран: III Всерос. симпозиум по амфибиот. и водным насекомым. Воронеж: ВГУ, 2007. С. 296—302.
11. Carchini G., Chiarotti F., Domenico V. di, Paganotti G. Fluctuating asymmetry, size and mating success in males of *Ischnura elegans* (Van der Linden) (Odonata: Coenagrionidae) // Animal Behaviour. 2000. Vol. 59. N 3. P. 177—182.
12. Хорольская Е.Н. Экологический анализ флуктуирующей асимметрии в изменчивости элементов меланизированного рисунка покрова клопа-солдатика (*Pyrrhocoris apterus* L.) в различных экосистемах (на примере Белгородской области): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Белгород: БГУ, 2006. 24 с.
13. Dobrin M., Corkum L.D. Can fluctuating asymmetry in adult burrowing mayflies (*Hexagenia rigida*, Ephemeroptera) be used as a measure of contaminant stress? // J. Great Lakes Res. 1999. Vol. 25. N 2. P. 339—346.
14. Hardersen S., Wratten S.D., Frampton C.M. Does carbaryl increase fluctuating asymmetry in damselflies under field conditions? A mesocosm experiment with *Xanthocnemis zealandica* (Odonata: Zygoptera) // J. Applied Ecology. 1999. N 36. P. 534—543.
15. Vishalakshi C., Singh B.N. Effect of environmental stress on fluctuating asymmetry in certain morphological traits in *Drosophila ananassae*: nutrition and larval crowding // Canad. J. Zool. 2008. Vol. 86. N 9. P. 1084.
16. Рязанова Г.И., Устинова В.В. Стрекозы (Insecta, Odonata) в мегаполисе (на примере Москвы) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2009. Т. 114. Вып. 4. № 55—62.
17. Conrad K.F., Willson K.H., Whitfield K., Harvey I.F., Thomas C.J., Sherratt Th.N. Characteristics of dispersing *Ischnura elegans* and *Coenagrion puella* (Odonata): age, sex, size, morph and ectoparasitism // Ecography. 2002. Vol. 25. P. 439—445.
18. Yablokov A.V., Eatin V.Ja., Pritikina L.N. Variability of wing venation of the dragonfly // Beitr. Ent. 1970. Vol. 5. N 6. P. 503—526.
19. De Block M., Campero M., Stocks R. Developmental costs of rapid growth in a damselfly // Ecol. Entomol. 2008. Vol. 33. N 2. P. 313—318.
20. Hardersen S., Frampton C.M. Effects of short term pollution on the level of fluctuating asymmetry — a case study damselflies // Entomol. Experiment appl. 1999. Vol. 92. N 1. P. 1—7.
21. Hardersen S., Wratten S.D. The effects of carbaryl exposure of the penultimate larval instars of *xanthocnemis zealandica* on emergence and fluctuating asymmetry // Ecotoxicology. 1998. Vol. 7. N 5. P. 297—304.
22. Hardersen S. The role of behavioural ecology of damselflies in the use of fluctuating asymmetry as a bioindicator of water pollution // Ecol. Entomol. 2000. Vol. 25. P. 45—53.
23. Dongen S.V. Fluctuating asymmetry and developmental instability in evolutionary biology: past, present and future // J. Evol. Biol. 2006. Vol. 19. N 6. P. 1727—1743.

Поступила в редакцию
19.06.12

**FLUCTUATING ASYMMETRY OF WING VENATION IN DAMSELFLIES
ISCHNURA ELEGANS (V.d. LIND.) (ODONATA: COENAGRIONIDAE)
AND PROSPECTS OF ITS USE AS A BIOLOGICAL INDICATOR
OF ECOLOGICAL QUALITY OF FRESH-WATER RESERVOIRS**

G.I. Ryzanova, A.S. Polygalov

For the bioindication of environment in 2010 and 2011 fluctuating asymmetry (FA) of wing venation in five populations of damselfly *Ischnura elegans* (V.d. Lind.) is studied. The seasonal and sexual features of FA are estimated. Absence is found of correlation to different descriptions in FA of wings. For explaining to of the differently directed changes FA of damselflies of the studied populations under influence of temperature-oxygen stress 2010 year the hypothesis of the differentiated

death rate of individuals is offered with shaky stability of development. Direct connection of FA of damselfly wings with environment stresses are called in a question as well as possibility to use her as an instrument of biomonitoring of the ecological quality of reservoirs.

Key words: *damselfly, fluctuating asymmetry, environment stress, bioindication.*

Сведения об авторах

Рязанова Галина Ивановна — докт. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры энтомологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-16-95; e-mail: RyazanovaGI@mail.ru

Полыгалов Андрей Сергеевич — студент кафедры энтомологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-16-95; e-mail: ves_1982@mail.ru