ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК 595.73:57.044

СТРЕКОЗЫ И АНТРОПОГЕННОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОД

Г.И. Рязанова

Кафедра энтомологии, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12
e-mail: ryazanovagi@mail.ru

Антропогенное засоление внутренних вод и его влияние на пресноводную биоту являются актуальными экологическими проблемами. Такое засоление приводит к изменениям в природной среде, нежелательным с точки зрения охраны окружающей среды и небезразличным для человека. Одним из трех наиболее важных факторов антропогенного засоления пресной воды в странах с умеренным и холодным климатом, наряду с сельскохозяйственной деятельностью и горным делом, стало широкое использование химических реагентов в борьбе с обледенением дорог. Сегодня основными компонентами этих реагентов являются хлориды Na и Ca – дешевые и легко доступные природные материалы. Их смесь с песком, используемая в практике противообледенительной обработки, обычно хранится навалом на специальных площадках под открытым небом круглый год. Воздействие атмосферных осадков делает ее источником засоления окружающих почв и вод. В 2015, 2016 и 2018 гг. регистрировали засоленность внутренних водоемов вблизи многолетнего открытого хранилища противогололедных реагентов в Калужской области. Установлен антропогенный характер засоления обследованных водоемов. Основные составляющие засоления водоемов в районе исследования – хлориды Na и Ca. Максимальный уровень засоления в изученных условиях – 4‰, степень засоления зависит от удаленности водоема от хранилища дорожной соли. Рассмотрено влияние антропогенной засоленности на стрекоз, главным образом, вида *Coenagrion puella* L. Обнаружено, что влияние повышенной засоленности воды проявляется лишь в замедлении развития особей с высоким уровнем флуктуирующей асимметрии, оно не оказывает воздействия на их число в популяции. Высокая соленость воды приводит только к изменению сроков лёта особей с высокой ФА. Предполагается, что стрекозы, как один из массовых объектов пресноводной биоты, очевидно, не подвержены значительному влиянию антропогенного засоления.

Ключевые слова: *дорожная соль, открытое хранилище, окружающие водоемы, стрекозы, флуктуирующая асимметрия, влияние засоления*

Настоящая работа выполнена в рамках проблемы антропогенного влияния на живую природу. Континентальные водоемы Земли в основном пресноводные. Однако существует природное засоление водоемов и водотоков за счет геохимических и климатических процессов, преимущественно хлоридами и сульфатами щелочных и щелочноземельных металлов. Показано, что отношение разных групп пресноводных обитателей и к величине природного засоления, и к его химизму сильно различается [1, 2]. Соответствующие вариации экосистем минерализованных вод исследованы недостаточно.

Проблема изучения биоты минерализованных водоемов осложняется тем, что к природному засолению присоединяется изменчивое антропогенное, характеризуемое как глобальная и растущая угроза, которая может быть усилена изменением климата [1]. В качестве основного источника антропогенного засоления внутренних вод, наряду с сельскохо-

зяйственным производством и горным делом, рассматривают в настоящее время широкое использование химических реагентов для борьбы с обледенением автодорог [1–4]. Во всем мире до настоящего времени основной составляющей противогололедных реагентов (ПГР) остается NaCl [5]. Показано, что большая часть антигололедных солей поступает в соседние водоемы и водотоки с осадками и при таянии снега [6]. В сельской местности более серьезным источником загрязнения среды, чем зимняя обработка дорог (непостоянная и дозированная), может являться предусмотренное соответствующими инструкциями постоянное хранение запасов твердых ПГР открытым способом – насыпью на подготовленных площадках.

Стрекозы – одни из древнейших насекомых, пережившие многие природные катастрофы и процветающие сегодня. Как эта модель выживания чувствует себя при современном антропогенном изменении своей среды обитания? Эти насекомые известны толерантностью к природному засолению внутренних вод. В обзоре Корбета [7] названы 24 вида стрекоз, обитающие в естественно солоноватых и соленых водах. Показано, что стрекозы семейств Coenagrionidae, Aeshnidae, Gomphidae, Libellulidae, Hemicorduliidae и Lestidae обитают в воде с природной соленостью 5,9–40‰ (промилле), Calopterygidae – с соленостью 0,21–2,60‰ [8–10]. Отметим, что соленость мирового океана около 35‰ (из них 19‰ приходится на хлориды), пресных вод – менее 0,5‰. О сравнительной толерантности к соли разных стрекоз известно немного и данные противоречивы [7, 11]. Так, стрекозы рода Aeshna зарегистрированы как обитатели воды с соленостью 21,1‰ [10] или 8,1–11,0‰ [11]. Так же разноречивы литературные данные по стрекозам родов *Lestes, Enallagma, Sympetrum*. При этом авторы высказывают предположение, что не сама соленость является определяющим экологическим фактором для стрекоз. Например, показано, что Zygoptera преимущественно водятся в водоемах среднесоленых (5–18‰), а не в малосоленых (0,5–5‰), так как именно там преобладает их корм – хирономиды [12]. Показано, что личинки стрекоз *Ischnura heterosticta* лучше растут в соленой воде, чем в пресной [13]. Для вида *Enallagma clausum* в озере с соленостью воды 15,6–16,4‰ показано, что не соленость, а глубина и характер грунта – ведущие факторы в распределении личинок [14].

Не решен вопрос о механизме толерантности стрекоз к соли в естественно минерализованных водоемах. Имеем ли мы дело с локальными генетическими адаптациями изолированных популяций или с физиолого-морфологическими преадаптациями стрекоз в целом? Возможно, способность развиваться в солоноватой воде – адаптация лишь отдельных популяций к природным условиям, в которых они существуют многие годы. Отсюда противоречивые данные о толерантности к соли стрекоз одного рода. Надо отметить, что исследователи нередко выбирают стрекоз моделями для изучения эволюционных процессов именно из-за их сравнительной оседлости и изолированности популяций, что позволяет предполагать значимую популяционно-генетическую дифференциацию типичной характеристикой этого таксона [15–18].

Однако в ряде исследований как общая характеристика отряда показана способность стрекоз к регулированию осмотического давления гемолимфы, позволяющая им осваивать умеренно соленые воды [7]. Механизм этой регуляции обеспечен специфическим строением эпителия прямой кишки и особенностью дыхания личинок стрекоз с использованием этого органа. Широта распространения и видоспецифичность этой морфо-физиологической особенности в отряде не описана, что не дает возможности априори оценивать способность вида осваивать солоноватую воду.

В представленной работе освещены две стороны проблемы. С одной стороны – масштабы и динамика антропогенного засоления водоемов за счет открытого хранения ПГР. Литературные данные такого рода нам не известны. С другой стороны, рассмотрено отношение стрекоз местных популяционных группировок, прежде с соленостью воды не сталкивавшихся, к антропогенному засоления среды. Важно также было выяснить, является ли этот фактор стрессовым для стрекоз и как в связи с этим изменяется один из показателей стресса у животных – флуктуирующая асимметрия (ФА) [19].

Материал и методы

Настоящее исследование проведено в 2015, 2016 и 2018 гг. около г. Балабаново Калужской области. Выбранный участок позволяет оценить максимальное возможное антропогенное засоление в наших условиях. Здесь на площадке возле федеральной трассы А-108 «Большое московское кольцо» более 10 лет открыто навалом хранились возобновляемые запасы песчано-соляной смеси, предназначенной для зимней обработки автодорог. Это хранилище было уничтожено в начале 2017 г. В нашей стране используют песчано-соляную смесь с содержанием технической поваренной соли 30–40%. Площадка расположена на вершине водораздела. На спуске от нее в долину

реки Истья мы обследовали шесть водоемов, разно-удаленных от хранилища соли. Различаются они глубиной и величиной открытых водных пространств. Водоемы в обычное время не связаны наземными протоками, но второй-третий и четвертый могут сообщаться в период половодья по трубе или ровику. За время наблюдения такой ситуации не возникало, что позволяет считать подземные воды главным путем распространения соли.

Поскольку водоемы невелики и не имеют качественно выделяющихся участков, пробы брали в одном месте водоема. Каждое приведенное значение – среднее по трем пробам. Определяли соленость воды методом выпаривания и взвешивания сухого остатка на электронных весах. Данные определения количества солей в воде рассматриваемых водоемов, а также размеры и положение водоемов представлены в табл. 1.

Проведен ионный анализ воды из водоема с наиболее высокой засоленностью (№ 1). Анализ выполнен в Испытательном центре Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова 17.06.2016 на пробе от 30.05.2016 (см. табл. 2).

Стрекозы *Coenagrion puella* L. избраны для рассмотрения особенностей ФА как наиболее многочисленный вид. Взяты выборки еще двух видов стрекоз, менее многочисленных в исследуемых водоемах, вида *Coenagrion hastulatum* (Charp.) 28.05.16 – водоемы 2, 5, 6 и *Enallagma cyathigerum* (Charp.) 07.07.15 – водоемы 3, 6.

Таблица 1

Характеристики обследованных водоемов

№ водоема	Площадь поверхности (м)	Удаленность от хранилища соли (м)	Соленость воды (‰)				
			2015г.	2016 г.		2018 г.	
			14.06	30.05	07.07	27.05	15.07
1	40 x 8	250	3,5	1,4	3,2	2,8	4,0
2	75 x 15	520	2,4	1,1	-	2,1	-
3	145 x 30	600	1,4	0,7	1,3	1,1	1,4
4	40 x 15	760	1,6	-	-	1,1	1,1
5	70 x10	1150	0	0	0	0	0
6	30 x20	1400	0,01	0	0	0	0

Всего рассмотрена ФА крыльев 295 особей *C. puella*. Вылет имаго этих стрекоз наблюдали во всех шести водоемах на всем протяжении лётного сезона – с конца мая до конца июля, так что речи о драматически летальном влиянии на них засоления думать не приходится. Толерантность вида к соли в литературе не отмечена. О развитии описываемой особи в данном водоеме говорили ее мягкие еще покровы и неполная окраска, характерные для нелетающих полноценно молодых, только что вышедших из воды имаго стрекоз. Число ячеек подсчитывали в крыльях самцов, отловленных в начале и в конце сезона лёта вида (май или начало июня – середина июля). Подсчет ячеек крыла проводили по схеме, предложенной в работе акад. А.В. Яблокова с соавт. [18]: по отдельным полям крыла, ограниченным продольными жилками. Крыло равнокрылой стрекозы содержит 13 таких полей. Оценили частоту встречаемости ФА (число асимметричных пар полей в крыльях) и степень асимметрии (величину различий числа ячеек в парах полей) – табл. 3.

Таблица 2

Содержание в пробе воды водоема № 1 от 30.05.2016 катионов и анионов

Определяемый показатель	Результат измерения (мг/л)	Нормативное значение*(мг/л)
Катионы		
Магний	33,6	5-65
Кальций	168	25-130
Калий	5,1	20
Натрий	283	200
Анионы		
Сульфат	24,2	500
Хлорид	593	350
Нитрат	0,2	45
Фосфат	<0,1	3,5

* – гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества, СанПиН 2.1.4.1074-01.

Все результаты подсчета ячеек обработаны статистическими методами. Использованы непараметрический критерий «U» Вилкоксона–Манна-Уитни и четырехпольные таблицы с критерием χ^2.

Результаты и обсуждение

Общая минерализация воды по данным анализа Испытательного центра МГУ – 1,11 г/л, то есть несколько меньше, чем полученная нами. Возможно, это следствие ограниченности набора ионов, определяемых Испы-

Таблица 3

Флуктуирующая асимметрия жилкования крыльев у стрекоз *Coenagrion puella* в водоемах с разной соленостью воды*

№ водоема	Время взятия выборок					
	2015		2016		2018	
	14-16.06	4-7.07	28-29.05	9.07	13-14.06	15-16.07
	Число пар полей крыльев/из них асимметричных – из них на 1 ячейку (% асимметричных пар полей - из них асимметричных на 1 ячейку)					
1	257/113-96 (44-85)	270/153-101 (57-66)	208/83-66 (40-82)	247/140-96 (57-67)	283/149-110 (53-74)	198/124-87 (63-70)
2	259/115-72 (44-63)	285/136-97 (48-71)	260/114-93 (44-82)	–	247/126-94 (51-75)	–
3	249/120-84 (48-70)	273/123-87 (45-71)	221/124-87 (56-77)	234/135-85 (58-63)	260/145-98 (56-68)	260/144-98 (55-68)
4	–	297/159-118 (54-74)	–	–	260/136-98 (52-72)	247/132-85 (53-64)
5	156/61-45 (39-74)	231/105-79 (45-75)	104/49-48 (47-98)	–	–	–
6	259/118-97 (46-82)	278/137-101 (49-74)	182/87-75 (48-86)	286/158-105 (55-66)	284/151-107 (53-71)	308/169-107 (55-63)

* – достоверность различий см. в тексте.

тательным центром МГУ. Этот набор учитывает наиболее массовые ионы и отвечает гигиеническим требованиям к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения, утвержденным как контроль качества в рамках СанПиН (санитарно-эпидемиологические правила и нормативы).

Установлено, что основная минерализация обследованных водоемов осуществляется, как и ожидалось, за счет NaCl, составляющего основу химических реагентов пескосоли, и $CaCl_2$.

Между выборками стрекоз из разных водоемов, взятыми в одно время, не обнаружено значимых различий в частоте встречаемости ФА (табл. 3). Исключением является только выборка из водоема № 1 в сравнении с выборкой из водоема № 3 в начале лёта стрекоз в 2016 г. (χ^2=3,9, p<0,05).

Достоверно также различие в частоте ФА у стрекоз водоема № 1 в начале лёта и конце лёта в 2015 и 2016 гг. В начале лёта она значимо меньше (χ2=3,9, p<0,05 и χ^2=4,4, p<0,05 соответственно). Во всех других водоемах ФА крыльев стрекоз не изменяется значимо в ходе сезона.

Во всех выборках была определена доля стрекоз с ФА полей крыла минимальной величины – в одну ячейку. Эта характеристика свидетельствует о степени асимметрии. Достоверных различий между выборками не обнаружено, как и различий в большем числе ячеек (определяемых по критерию «U»).

У видов *C. hastulatum* и *E. cyathigerum* значимых различий в частоте асимметрии крыльев в водоемах с нулевой соленостью (№ 5, № 6) и в водоемах, имеющих соленость в 1,1–1,4‰ (№ 2, № 3), не обнаружено.

Наблюдаемая связь степени засоленности воды с удалением от хранилища пескосоли, как и состав ионов, соответствующий составу ПГР в хранилище, свидетельствует о том, что основным источником засоления является хранилище, в котором за время нашего исследования в 2015–2016 гг., круглый год находилась пескосоль.

Обнаруженное антропогенное засоление водоемов сравнительно невелико. Вода в обследованных водоемах соответствует уровню малосоленой в естественно минерализованных водоемах – от 0,5 до 5‰. Тем не менее, по литературным данным [2, 4, 23], такая соленость может заметно влиять на пресноводную биоту. Водоемы, удаленные от хранилища более чем на 1 км, не содержат соли вообще.

Измерение в разные годы и дважды в ходе сезона показывает, что степень засоления водоемов весьма изменчива. Она явно зависит от осадков. Так, наименьшая засоленность всех водоемов отмечена 30.05.2016 после сильных дождей. Несмотря на уничтожение хранилища в 2017 г. и прекращение новых поступлений из него соли, максимальная засоленность водоема № 1 наблюдалась в июле засушливого 2018 г., когда водоем № 2 практически пересох. Соленость наибольшего

водоема № 3 в это время вновь достигла уровня 2015 г. после падения в 2016 г. Очевидно, запасы соли в почве, несмотря на прекращение новых поступлений из хранилища, обеспечивают высокий уровень засоленности водоемов и более года спустя после его уничтожения, а вымывание соли пресными водами, поступающими с атмосферными осадками, процесс не быстрый.

При выявленном уровне засоленности водоемов в основном NaCl во всех шести развивались стрекозы *C. puella*. Мы не обнаружили в литературе упоминания этого вида в связи с естественным засолением пресных вод, и не известны границы его возможной толерантности к солености.

В районе нашего исследования – кроме водоемов № 5 и № 6, удаленных от хранилища пескосоли более чем на 1 км и имеющих совершенно пресную воду, – мы оценили минерализацию еще двух водоемов в долине реки Истья, заселенных стрекозами *C. puella*. Эти водоемы удалены от хранилища более чем на 3 км. Содержания солей в них также не обнаружено. Вероятно, геохимические и климатические условия района не способствуют естественному засолению пресных вод, и местная метапопуляция стрекозы *C. puella* с естественным засолением прежде не сталкивалась.

Была сделана попытка оценить негативное влияние на избранных стрекоз антропогенного засоления. Использована гипотеза о влиянии стрессовых (негативных) факторов на нарушение стабильного развития особей и на повышение у них уровня ФА [19]. В мировой литературе ФА признана пригодной в качестве биоиндикатора антропогенных стрессов у водных беспозвоночных [20, 21]. В то же время подчеркивается необходимость осторожного подхода к ее использованию и предполагается, что связь стресса и ФА – нелинейная. Действительно, негативный фактор может вызывать не только развитие ФА, но и дифференцированную смертность особей и, прежде всего, особей с нестабильным развитием, приводя к сокращению в популяции ФА и создавая видимость экологического благополучия. Ранее нами была показана такая парадоксальная ситуация у стрекоз *Ischnura elegans* (V.d. Linden) [22]. Показано, также, что действие стресса на ручейника приводит к выборочной смертности личинок младших возрастов с нестабильным развитием (имеющих большую ФА). В итоге вылетевшие имаго имеют общую небольшую ФА, несмотря на стресс [23].

По литературным данным, соленость воды, будучи негативным фактором, в зависимости от концентрации может оказывать на стрекоз летальное или сублетальное действие. В нашем случае соленость невелика и далеко не достигает экспериментально показанного для некоторых стрекоз летального уровня. Для пресноводных беспозвоночных было показано, что сублетальная соленость может приводить всего лишь к изменениям в воспроизводстве, росте и развитии особей [13].

Обнаруженный нами уровень антропогенного засоления водоемов не является летальным фактором для стрекоз, так как при самом высоком наблюдаемом уровне засоленности изучаемый вид благополучно развивается с обычной плотностью. Влияет ли вообще найденный уровень антропогенной засоленности водоемов на стрекоз как фактор негативный, но сублетальный? Нами не выявлено значимой связи частоты встречаемости ФА с соленостью воды даже при уровне в 4‰. Обнаруженный градиент солености воды не коррелирует ни с градиентом частоты встречаемости асимметрии (кроме одного исключения, описанного выше), ни со степенью асимметрии. Подобное отсутствие действия на ФА стрекоз описано и для безусловно негативного фактора – инсектицида карборила. Обнаружено, что его сублетальные дозы не изменяют ФА *Xanthocnemis zealandica* (McLach.) – равнокрылых стрекоз семейства Coenagrionidae [24]. Выше [12–14] было показано, что в ряде случаев авторы, невысоко оценивая значение для стрекоз даже большей солености воды, не считают естественное засоление главным фактором, определяющим распределение стрекоз в водоемах. Изучение ФА (длины бедра) личинок стрекоз *Calopteryx splendens* (Harr.) на участке в 20 км реки Мёрт (Франция) при градиенте естественной солености от 0,2 до 2,6‰ показало, что рассматриваемая ФА не определяется соленостью воды [25]. То есть отсутствие связи частоты ФА в популяции стрекоз и солености воды уже отмечали.

Следует учитывать, что литературные данные о влиянии засоления водоемов на стрекоз получены главным образом в исследованиях популяций, долговременно обитающих в естественно засоленных водах. В настоящей работе рассматривается популяция, долговременно существовавшая в пресной воде, а отсутствие связи ее ФА с засолением свидетельствует о том, что небольшое антропогенное засоление не является для данной популяции заметным негативным фактором. Два другие использованные в настоящем исследовании вида стрекоз подтверждают это предположение, расширяя его, по крайней мере, на семейство Coenagrionidae. Отсутствие различий в характере ФА популяционных группировок засоленных и несоленых водоемов свидетельствует о том, что соль в обнаруженном количестве не

является серьезным стрессовым фактором для изучаемых видов.

Тем не менее, некоторое отрицательное влияние засоления на изучаемых стрекоз мы все же обнаружили при рассмотрении ФА популяционной группировки при максимальном наблюдаемом нами уровне засоления – в водоеме № 1. При солености в 4‰ найдена значимая связь частоты встречаемости ФА со временем лёта стрекоз. В этом водоеме, в отличие от всех других, ФА крыльев стрекоз в 2015 и в 2016 гг. изменяется со временем – увеличивается в конце лёта вида. Мы полагаем, что сравнительно высокая соленость как фактор, в какой-то мере неблагоприятный, замедляет онтогенез особей с нестабильным развитием, имеющих большую ФА. Такие особи начинают лететь в водоеме № 1 позже, чем в других, – в июле, и только тогда здесь увеличивается общая частота ФА крыльев стрекоз. В 2018 г. водоем № 1 – единственный, где, судя по процентному соотношению асимметричных особей, обнаруженное различие сохраняется, но только как тенденция (не хватает достоверности: $\chi^2=1,3$, $p>0,05$). Больше ни в одном из водоемов и ни в одном из трех сезонов такое явление мы не наблюдали. То есть, при максимальном обнаруженном нами уровне соленость воды все же фактор негативный, хотя и не влияющий на ФА рассмотренных популяционных группировок.

Полученные данные позволяют считать, что хранение под открытым небом запасов таких противогололедных реагентов как пескосоль с превалированием в ее составе дешевой технической поваренной соли приводит к засолению близлежащих водоемов. В худших случаях, при расстоянии от хранилища до водоема около 200 м и при особенностях ландшафта, не препятствующих стоку от хранилища в сторону водоема поверхностных и подземных вод, засоленность пресных вод может составлять 4‰. Уровень антропогенной засоленности изменяется в зависимости от величины осадков.

Соленость как негативный физико-химический фактор могла бы обладать заметным воздействием на стрекоз. Однако эти насекомые, по-видимому, в масштабах отряда, даже независимо от экологической истории популяции, отличаются морфо-физиологической особенностью, позволяющей претерпевать без заметного ущерба такое небольшое антропогенное засоление водоемов. Неизбежные же изменения, происходящие в составе биоты водоемов в связи с описанным антропогенным засолением и касающиеся кормовой базы стрекоз, не критичны для этого хищника – очень широкого полифага. При известном разнообразии отношения к засоленности разных групп пресноводной экосистемы для стрекоз, по-видимому, изученная антропогенная засоленность не является стрессовым фактором, угрожающим существованию популяции.

Исследования проведены с соблюдением этических норм работы с животными, установленными Комиссией по биоэтике МГУ. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kefford B.J., Buchwalter D., Cañedo-Argüelles M., Davis J., Duncan R.P., Hoffmann A., Thompson R.* Salinized degraded systems or new habitats for salt-tolerant faunas? // Biol. Lett. 2016. Vol. 12. N 3. Article ID: 20151072.

2. *Cañedo-Argüelles M., Kefford B.J., Piscart C., Prat N., Schäfer R.B., Schulz C.J.* Salinisation of rivers: an urgent ecological issue // Environ. Pollut. 2013. Vol. 173. P. 157–167.

3. *Blasius, B.J., Merritt R.W.* Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertibrate communities // Environ. Pollut. 2002. Vol. 120. N 2. P. 219–231.

4. *Hart B., Bailey P., Edwards P., Hortle K., James K., McMahon A., Meredith C., Swadling K.* A review of salt sensitivity of Australian freshwater biota // Hydrobiologia. 1991. Vol. 210. N 1–2. P. 105–144.

5. *Stranko S., Bourquin R., Zimmerman J., Kashiwagi M. McGinty M. Klauda R.* Do road salts cause environmental impacts? Annapolis: Maryland Department of Natural Resources, 2013. 33 pp.

6. *Williams D.D., Williams N.E., Cao Y.* Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact // Water Res. 2000. Vol. 34. N 1. P. 127–138.

7. *Corbet P.S.* Dragonflies. Behavior and ecology of Odonata. Ithaca, New-York: Comstok Publ. Assoc., Cornell Univ. Press. 2004. 829 pp.

8. *Rutherford J.C., Kefford B.J.* Effects of salinity on stream ecosystems: improving models for macroinvertebrates. CSIRO Land and Water Technical Report 22/05. Canberra, 2005. 64 pp.

9. *Millán A., Velasco J., Gutiérrez-Cánovas C., Arribas P., Picazo F., Sánchez-Fernández D. Abellán P.* Mediterranean saline streams in

southeast Spain: What do we know? // J. Arid. Environ. 2011. Vol. 75. N 12. P. 1352–1359.

10. *Zinchenko T.D., Golovatyuk L.V.* Salinity tolerance of macroinvertebrates in stream waters (review) // Arid Ecosyst. 2013. Vol. 3. N 3. P. 113–121.

11. *Catlin P.M.* Dragonflies (Odonata) emerging from brackish pools in saltmarshes of Gaspé, Quebec // Can. Field-Nat. 2009. Vol. 123. N 2. P. 176–177.

12. *Hart E.A., Lovvorn J.R.* Patterns of macroinvertebrate abundance in inland saline wetlands: a trophic analysis // Hydrobiologia. 2005. Vol. 541. N 1. P. 45–54.

13. *Kefford B.J., Zalizniak L., Nugegoda D.* Growth of the damselfly *Ischnura heterosticta* is better in saline water than freshwater // Environ. Pollut. 2006. Vol. 141. N 3. P. 409–419.

14. *Herbst D.B., Medhurst R.B., Roberts. S.W., Jellison R.* Substratum associations and depth distribution of benthic invertebrates in saline Walker Lake, Nevada, USA // Hydrobiologia. 2013. Vol. 700. N 1. P. 61–72.

15. *Conrad K.F., Willson K.H., Whitfield K.,.Harvey I.F, Thomas C.J., Thomas N.* Characteristics of dispersing *Ischnura elegans* and *Coenagrion puella* (Odonata): age, sex, size, morph and ectoparasitism // Ecography. 2002. Vol. 25. N 4. P. 439–445.

16. *Watts P.C., Rouquette J.R., Saccheri I.J., Kemp S.J., Thompson D.J.* Molecular and ecological evidence for small-scale isolation by distance in an endangered damselfly, *Coenagrion mercurial* // Molecular Ecology. 2004. Vol. 13. N 10. P. 2931–2945.

17. *Watts P.C., Saccheri I.J., Kemp S.J., Thompson D.J.* Effective population sizes and migration rates in fragmented populations of an endangered insect (*Coenagrion mercurial*: Odonata) // J. Animal Ecol. 2007. Vol. 76. N 4. P. 790–800.

18. *Yablokov A.V., Eatin V.J., Pritikina L.N.* Variability of wing venation of the dragonfly // Beitr. Ent. 1970. Vol. 5. N 6. P. 503–526.

19.*Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Ф.Т. Чубинишвили*. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

20. B*onada N., Prat N., Resh V.H., Statzner B.* Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches // Annu. Rev. Entomol. 2006. Vol. 51. P. 495–523.

21. *Beasley D.A.E., Bonisoli-Alquati A., Mousseau T.A.* The use of fluctuating asymmetry as a measure of environmentally induced developmental instability: a meta-analysis // Ecol. Indic. 2013. Vol. 30. P. 218–226.

22. *Ryazanova G.I., Polygalov A.S.* Fluctuating asymmetry of wing venation in damselflies *Ischnura elegans* (V.d. Linden) (Odonata, Coenagrionidae) and prospects of its use as a biological indicator of ecological quality of freshwater reservoirs // Moscow Univ. Biol. Sci. Bull. 2013. Vol. 68. N 4. P.165–169.

23. *Piscart C., Moreteau J-C., Beisel J-N.* Decrease of fluctuating asymmetry among larval instars in aquatic, holometabolous insect // C.R. Biol. 2005. Vol. 328. N 10–11. P. 912–917.

24. *Hardersen S., Wratten S.D., Frampton C.M.* Does carbaryl increase fuctuating asymmetry in damselflies under field conditions? A mesocosm experiment with *Xanthocnemis zealandica* (Odonata:Zygoptera) // J. Appl. Ecol. 1999. Vol. 36. N 4. P. 534–543.

25. *Piscart C., Moreteau J.-C., Beisel J.-N.* Fluctuating asymmetry of natural populations of aquatic insects along a salinity gradient // Environmental Bioindicators. 2006. Vol. 1. N 4. P. 229–241.

Поступила в редакцию
25.11.2018
Поступила после доработки
13.01.2019
Принята в печать
15.01.2019

RESEARCH ARTICLE

ODONATA AND THE ANTHROPOGENIC SALINIZATION OF INLAND WATERS

G.I. Ryazanova

Department of Entomology, School of Biology, Lomonosov Moscow State University, Leninskiye gory 1–12, Moscow, 119234, Russia
e-mail: ryazanovagi@mail.ru

Anthropogenic salinization of inland waters and its effect on freshwater biota is one of the current environmental problems. Such salinization leads to changes in the natural environment, undesirable from the point of view of environmental protection and not indifferent to humans. One of the three most important factors of anthropogenic salinization of freshwater in countries with a temperate and cold climate, along with agricultural activities and mining, has today become the widespread use of chemical reagents in the fight against road icing. Today, the main components of these reagents are chlorides of Na and Ca – cheap and easy to obtain natural materials. The mixture of sand and salt used in the practice of de-icing is usually stored in bulk in special open-air areas all year round. The impact of atmospheric precipitation makes its a source of salinization of the surrounding soils and waters. In 2015, 2016 and 2018 recorded salinity of inland waters near the long-term open storage of anti-icing agents in the Kaluga region. The anthropogenic nature of salinization of the examined reservoirs has been established. The main components of salinization of reservoirs in the study area are Na and Ca chlorides. The maximum level of salinity in the studied conditions is 4‰ (ppm), the degree of salinity depends on the distance of the reservoir from the salt storage. The influence of anthropogenic salinity on dragonflies, mainly of the species *Coenagrion puella* L., has been studied. It has been found that the negative effect of salt manifests itself only as a slowdown in the development of individuals with a high level of fluctuating asymmetry, the number of which in the population is not determined by water salinity. High salinity of water only leads to a change in the time of emergence of imago of sabjects with high FA. It is assumed that dragonflies, as one of the mass objects of freshwater biota, obviously do not suffer significantly with anthropogenic salinization.

Keywords: *road salt, open storage, surrounding reservoirs, dragonflies, fluctuating asymmetry, salinization effect*

Сведения об авторе

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