

УДК 576.62(285.2)(571.1)

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ АРТЕМИИ В ОЗЕРАХ УРАЛА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2012 г. Е. Г. Бойко*, Л. И. Литвиненко**, К. В. Куцанов**, М. А. Габдуллин**

* Тюменская государственная сельскохозяйственная академия,
625003 Тюмень, ул. Республики, 7

** Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства,
625023 Тюмень, ул. Одесская, 33
E-mail: egboyko@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.06.2011 г.

Проведен морфометрический анализ 24 популяций жаброногих рачков рода *Artemia* из озер Западной Сибири и Урала в вегетационный сезон 2010 г. Выявлено наличие дифференциации изученных популяций артемии. Основным дифференцирующим фактором является общая минерализация водоемов. Обнаружен феномен флуктуирующей асимметрии числа щетинок на правой и левой ветвях фурки рачков. Показана тенденция снижения проявления флуктуирующей асимметрии выделенного признака с увеличением общей минерализации водоемов.

Ключевые слова: жаброногий рачок *Artemia*, морфометрический анализ, кластерный и дискриминантный анализы, флуктуирующая асимметрия.

Гипергалинные рачки рода *Artemia* (Leach, 1819) относятся к организмам, которые могут хорошо развиваться в естественных морских водоемах, но из-за отсутствия анатомического защитного механизма от хищников они могут стать легкой добычей для плотоядных животных (рыб, ракообразных, насекомых и др.). Однако артемия приобрела эффективный экологический механизм защиты от хищников в результате физиологической адаптации к биотопам с высокой соленостью. Артемия обладает самой эффективной осморегулирующей системой в царстве животных (Croghan, 1958): рачки обитают в таких биотопах, где хищники выжить не могут.

Экологическая пластичность артемии наиболее изучена в отношении солености. Рачки адаптированы к широкому диапазону содержания солей в воде: от 10 до 340 г/л (Литвиненко и др., 2009). В зависимости от общей минерализации водоемов артемия способна менять свою форму и размеры. Вместе с тем эта способность привела к большой путанице в систематике рода *Artemia*, чему также способствовали изменения физиологии рачков под влиянием солевых условий. Окружающая среда играет важную роль в детерминировании так называемых “форм” артемии. Основным морфообразующим фактором для нее является концентрация солей (Pilla, Beardmore, 1994).

В связи с этим настоящая работа посвящена изучению особенностей биологии рачков из озер разной минерализации Западной Сибири и Урала.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве исходного материала послужили половозрелые самки партеногенетических популяций артемии, выловленные в июне–сентябре 2010 г. в озерах Урала и Западной Сибири: Малое Медвежье, Большое Медвежье, Вишняковское, Невидим, Ново-Георгиевское, Большое Курейное, Требушинное, Филатово, Собачье и Гашково – Курганская область, Эбейты – Омская область, Соленый Кулат и Таузаткуль – Челябинская область, Сиверга и Окуневское – Тюменская область, Большое, Соленое (Мухино), Горькое (Новоключи), Горькое (Рождественка), Сахалин, Лечебное (Яблоневка), Островное, Круглое (Владимир) и Конево – Новосибирская область.

Сбор материала проводили стандартными методами планктонной сетью Апштейна из мельничного газа № 49–52. Рачки были зафиксированы в 4%-ном растворе формалина. Камеральную обработку выполнили под стереоскопическим микроскопом МБС-10, оборудованным окуляр-микрометром. Анализ провели по девяти пластическим признакам – длина тела (*tl*), длина абдомена (*al*), ширина абдомена (*aw*), расстояние между глазами (*de*), диаметр глаз (*ed*), длина фурки (*fl*), длина первой антенны (*la*), ширина головы (*hw*), индекс длины абдомена (*al/tl*) и одному меристическому признаку – число щетинок на фурке: *sf-r* – на правой и *sf-l* – на левой ветви).

Статистическая обработка данных выполнена по общепринятым методикам. Использовали

среднюю величину (M), ошибку средней величины (m), коэффициент вариации (CV). Уровень разнообразия признаков по величине коэффициента вариации оценивали по Г.Ф. Лакину (1990). Анализ достоверности полученных различий проведен по t -критерию Стьюдента. Для оценки флуктуирующей асимметрии использовали следующие показатели: направленность асимметрии (M_d), выраженность флуктуирующей асимметрии (A), процент асимметричных особей, величину дисперсии (σ^2) (Захаров, 1987; Шадрин и др., 2005). Уровень степени сопряженности между морфометрическими значениями и показателями флуктуирующей асимметрии с общей минерализацией водоемов рассматривали с помощью коэффициентов корреляции (r) (Лакин, 1990). На основании полученных морфометрических данных были проведены кластерный и дискриминантный анализы в программе Statistica. Расчет всех числовых показателей произведен в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В вегетационный период 2010 г. были обследованы 24 соляных озера Урала и Западной Сибири. Вода большинства из них относилась к хлоридному классу натриевой группы III типа. Сульфатный класс натриевой группы II типа был характерен для оз. Островное (июнь). Хлоридно-натриевая вода II типа встречалась в озерах Гашково, Собачье, Ново-Георгиевское, Вишняковское, Большое, Конево, Лечебное (Яблоневка), Эбейты. Два озера – Круглое (Владимир) и Сахалин – имели переменный тип: III в начале лета к осени сменился на II. Наибольшая минерализация рапы (>250 г/л) наблюдалась в таких озерах, как Таузаткуль, Большое Медвежье, Малое Медвежье, Лечебное (Яблоневка), Эбейты, Окуневское.

Из-за аномально засушливого лета в 2010 г. исследуемые озера Курганской и Тюменской областей имели самые высокие значения минерализации за весь период наблюдений (с 1995 г.). До 2010 г. все озера были рапные. Наряду с самосадочным оз. Эбейты осадок соли зафиксировали в озерах Вишняковское, Большое Медвежье, Малое Медвежье и Островное.

Высокая минерализация озер связана со значительным содержанием хлоридов, сульфатов, натрия и магния. Вода во всех исследованных озерах была очень жесткой. По кислотности основным свойствам рапы в большинстве озер была слабощелочная, в 10 озерах – нейтральная, в 4 – щелочная. Содержание органических веществ в озерах в течение всего периода было высоким. Аномально высокая концентрация органики зафиксирована в июньской пробе оз. Таузаткуль.

Географическое расположение, некоторые гидрологические характеристики, а также среднесезонная минерализация исследованных озер приведены в табл. 1. Общая площадь исследованных озер равна 291.92 км². В период исследований соленость озер находилась в пределах от 91 (Горькое (Новоключи)) до 381 г/л (Таузаткуль). Артемиевые озера можно условно разделить на четыре группы: I – соленость менее 70 г/л, II – от 71 до 150 г/л, III – от 151 до 250 г/л, IV – более 251 г/л (Литвиненко и др., 2009). Таким образом, среди исследованных артемиевых озер не обнаружены озера I группы, ко II группе можно отнести 6 озер, к III – 12, к IV – 6.

Среднесезонные морфометрические показатели половозрелых самок артемии в вегетационный сезон 2010 г. приведены в табл. 2.

Нами неоднократно была отмечена обратная зависимость роста рачков от общей минерализации водоемов. Не исключением оказался 2010 г. Наименьшими размерами отличались рачки из наиболее минерализованного оз. Таузаткуль, отнесенного к IV группе. Наиболее крупными были рачки из озер II группы. Максимальные значения индекса длины abdomena наблюдались у артемии из оз. Окуневское, а минимальные – у рачков из оз. Горькое (Новоключи). Артемия из озер IV группы: Горькое (Рождественка), Лечебное (Яблоневка), Б. Медвежье, Окуневское, М. Медвежье и Таузаткуль – характеризовалась наименьшим числом фуркальных щетинок и более короткой фуркой по сравнению с артемией из менее минерализованных озер.

Различия основных морфометрических показателей самок артемии исследованных озер оказались достоверными по большей части признаков (74.9%). Наименьшее количество достоверных различий обнаружено по индексу длины abdomena. Индексы, или относительные значения признаков, отражают определенные биологические закономерности (Животовский, 1984), поэтому являются более информативными, чем исходные величины, тогда как абсолютные признаки имеют большую зависимость от факторов окружающей среды.

Не обнаружены достоверные различия по анализируемым признакам между популяциями артемии из озер Б. Медвежье и М. Медвежье, М. Медвежье и Большое, Вишняковское и Филатово, Большое и Горькое (Рождественка). Статистически достоверные различия по всем анализируемым признакам характерны для артемии из озер Б. Медвежье и Требушинное, Б. Медвежье и Горькое (Новоключи), Б. Медвежье и Сиверга, М. Медвежье и Гашково, Большое и Сиверга, Требушинное и Филатово, Вишняковское и Сиверга, Вишняковское и Островное, Филатово и

Таблица 1. Географическое расположение и некоторые характеристики обследованных озер

Озеро	Объем выборки, экз.	Географические координаты	Площадь, км ²	Глубина, м	
				средняя	максимальная
Челябинская область					
Соленый Кулат	64	55°000'N–61°057'E	0.52	0.6	1.1
Таузаткуль	36	54°025'N–61°053'E	12.60	0.8	1.2
Курганская область					
Филатово	354	54°045'N–66°058'E	23.67	0.5	1.1
Невидим	418	55°008'N–66°055'E	7.18	0.7	1.6
Требушинное	128	55°002'N–66°056'E	3.08	0.8	1.5
Большое Курейное	18	54°056'N–66°056'E	3.71	0.6	1.6
Ново-Георгиевское	202	55°019'N–67°052'E	1.85	1.0	1.5
Большое Медвежье	418	55°015'N–67°050'E	38.30	0.8	1.3
Малое Медвежье	192	55°015'N–68°005'E	18.10	0.8	1.2
Вишняковское	269	54°044'N–63°048'E	2.20	0.9	1.8
Собаچه	62	54°057'N–66°058'E	0.42	0.4	0.6
Гашково	194	54°042'N–64°032'E	3.51	1.1	2.0
Тюменская область					
Окуневское	85	55°043'N–68°040'E	0.75	0.8	1.2
Сиверга	137	55°023'N–68°045'E	52.13	0.6	1.3
Омская область					
Эбейты	199	54°040'N–71°045'E	83.30	0.4	0.7
Новосибирская область					
Горькое (Рождественка)	58	54°015'N–77°025'E	7.9	0.5	0.7
Островное	173	54°050'N–78°055'E	10.0	0.5	0.8
Горькое (Новоключи)	49	54°513'N–7°059'E	5.0	1.2	2.1
Сахалин	169	54°025'N–76°058'E	2.4	0.45	0.8
Конево	87	54°009'N–78°048'E	1.0	0.5	0.9
Круглое (Владимир)	76	54°008'N–77°055'E	1.5	0.55	0.9
Лечебное (Яблоневка)	131	54°043'N–76°030'E	2.8	0.6	1.1
Соленое (Мухино)	20	54°029'N–76°001'E	10.0	0.3	0.6
Итого	3539		291.92		

Сиверга, Филатово и Ново-Георгиевское, Эбейты и Сиверга, Горькое (Новоключи) и Невидим.

Наиболее вариабельными признаками оказались число щетинок на фурке и длина фурки. Коэффициент вариации числа щетинок достиг 61.88% у артемии из оз. Собаچه, длины фурки – 61.22% у артемии из оз. Лечебное (Яблоневка). Индекс длины абдомена оказался наименее вариабельным и составил 4.62% у рачков оз. Лечебное (Яблоневка). В 2010 г. отмечен большой размах популяционных колебаний анализируемых признаков. Наименее изменчивыми по изученным признакам оказались артемии из озер Конево и Требушинное, а артемия из озер М. Медвежье и Таузаткуль, наоборот, отличалась высокой измен-

чивостью по многим морфометрическим показателям.

Коэффициенты вариации анализируемых признаков в целом оказались незначительными и редко превышали 25%, что свидетельствует о невысоком уровне изменчивости показателей роста рачков. Существование артемии в условиях, лимитированных главным образом соленостью среды, приводит к снижению общей фенотипической изменчивости. Исключение составили число щетинок на фурке и длина фурки – коэффициент вариации был выше 25%. Ведущую роль в фенотипическом проявлении данного признака играет окружающая среда, в том числе минерализация водоема, меняющаяся в широких пределах даже в течение одного вегетационного сезона. Как из-

Таблица 2. Морфометрическая характеристика рачков исследованных озер ($M \pm m$)

Признак	Минимальное значение признака	Озеро	Максимальное значение признака	Озеро
<i>tl</i> , мм	6.36 ± 0.14	Таузаткуль	10.12 ± 0.11	Соленый Кулат
<i>al</i> , мм	3.66 ± 0.08	Таузаткуль	6.12 ± 0.05	Коневое
<i>aw</i> , мм	0.29 ± 0.01	Таузаткуль	0.59 ± 0.02	Б. Курейное
<i>de</i> , мм	0.87 ± 0.01	Таузаткуль	1.48 ± 0.02	Сиверга
<i>ed</i> , мм	0.15 ± 0.00	Вишняковское, Таузаткуль	0.25 ± 0.00	Сиверга, Соленый Кулат
<i>sf-l</i> , шт.	1.22 ± 0.05	М. Медвежье	7.22 ± 0.22	Сиверга
<i>sf-r</i> , шт.	1.13 ± 0.05	М. Медвежье	7.09 ± 0.20	Сиверга
<i>fl</i> , мм	0.06 ± 0.00	Лечебное (Яблоневка)	0.31 ± 0.02	Б. Курейное
<i>la</i> , мм	0.52 ± 0.01	Таузаткуль	0.87 ± 0.02	Сиверга
<i>hw</i> , мм	0.38 ± 0.01	Таузаткуль	0.81 ± 0.01	Сиверга
<i>al/tl</i> , %	52.10 ± 0.58	Горькое (Новоключи)	61.36 ± 0.73	Окуневское

вестно, отдельные факторы могут способствовать или препятствовать фенотипическому проявлению генетической информации, усиливать или ослаблять степень такого проявления, и, как следствие, генетически идентичные организмы в разных условиях существования в большей или меньшей степени отличаются по своим признакам.

Параметры биологических объектов находятся в определенной зависимости друг от друга, отношения между которыми неодинаковы. Изучение живых систем предполагает выявление корреляционных взаимосвязей между разными признаками. Можно выделить группы наиболее сильно или слабо коррелирующих признаков. В этой связи проведен расчет парных коэффициентов корреляции между анализируемыми морфометрическими параметрами артемии. Длина тела рачков положительно коррелировала с длиной абдомена (0.91****) на очень высоком уровне. Корреляция, близкая к функциональной, обнаружена между длиной первой антенны и расстоянием между глазами (0.91****), шириной головы и шириной абдомена (0.93****). Выявлена значительная взаимосвязь длины тела со следующими параметрами: ширина абдомена (0.70***), расстояние между глазами (0.82***), диаметр глаз (0.76***), длина первой антенны (0.75***), и ширина головы (0.73***). Отмечена сильная положительная корреляция ширины абдомена со всеми анализируемыми признаками, кроме индекса длины абдомена — направление корреляции было отрицательным. Расстояние между глазами положительно коррелировало с диаметром глаз (0.89***), числом щетинок (0.72***), шириной головы (0.87***). Отмечена сильная положительная корреляция между диаметром глаз и длиной первой антенны (0.76***), диаметром глаз и шириной головы (0.81***). Число щетинок сильно коррелировало с длиной фурки (0.88***). Выявлена силь-

ная положительная корреляция между шириной головы и длиной первой антенны (0.87****).

Таким образом, корреляционный анализ основных морфометрических показателей выявил наличие связи между признаками исследованных популяций артемии. Корреляция между анализируемыми признаками оказалась как положительной, так и отрицательной. Коэффициенты корреляции варьировали от -0.11 (между длиной тела и индексом длины абдомена), что соответствует слабой связи, до 0.93 (между шириной абдомена и шириной головы), что означает наличие очень сильной корреляции, близкой к функциональной зависимости.

Дифференциация изученных популяций артемии по всему комплексу морфометрических показателей с применением кластерного анализа данных выявила наличие двух неравнозначных кластеров (рис. 1). Меньший кластер объединил рачков в основном из озер II группы: Соленый Кулат, Требушинное, Б. Курейное, Сиверга, Гашково и Горькое (Новоключи). В этот кластер попала артемия из оз. Ново-Георгиевское, отнесенного к III группе. Общая минерализация озер данного кластера в среднем составила 126.4 ± 11.5 г/л при коэффициенте вариации 22.3%. Большой кластер состоит из двух подкластеров. Первый со средней соленостью 258.1 ± 28.7 г/л и коэффициентом вариации 27.2% объединил рачков из озер IV группы: Таузаткуль, Лечебное (Яблоневка), Эбейты, М. Медвежье, Б. Медвежье, а также III группы: Вишняковское, Горькое (Рождественка), Соленое (Мухино) и Большое. Второй подкластер объединил рачков из озер III группы: Невидим, Собачье, Круглое (Владимир), Филатово, Островное, Коневое и Сахалин, а также из оз. Окуневское, отнесенного к IV группе. Общая минерализация озер данного подкластера в период исследований в среднем составила 208.0 ± 19.8 г/л. Коэффициент

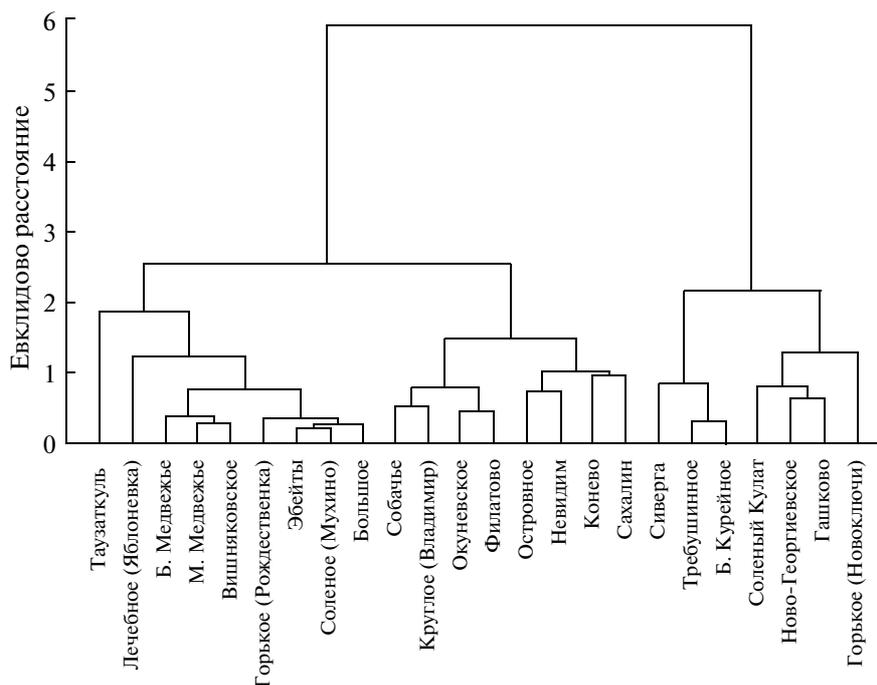


Рис. 1. Дендрограмма сходства изученных популяций артемии.

вариации минерализации данной группы озер оказался равным 16.4%. Таким образом, кластерный анализ выявил наличие трех дифференцированных групп.

В связи с тем, что в один и тот же кластер попала артемия из близких по минерализации озер, но географически отдаленных областей, можно предположить, что дифференцирующим фактором в данном случае является не географическое положение, а общая сумма ионов в водоеме в период исследований.

Помимо кластерного анализа, объединяющего объекты в иерархическое древо, был применен дискриминантный анализ. В связи с разным вкладом генетической компоненты в развитие абсолютных и относительных признаков дискриминацию провели только по абсолютным признакам, а индекс длины абдомена исключили. Значение лямбда Уилкса оказалось равным 0.006, т.е. находилось в интервале от 0 до 1, т.е. наблюдается четкая дискриминация изученных популяций артемии.

Для каждой совокупности определили положение центроида, представляющего собой среднее значение для всех переменных в многомерном пространстве. Рассчитали расстояние Махаланобиса между центроидами, которое является мерой дистанции между двумя точками в пространстве, определяемой двумя и более коррелированными переменными. Согласно В.П. Боровикову (1998), чем меньше это расстояние, тем ближе цен-

троиды находятся друг к другу. Наименьшее расстояние Махаланобиса выявлено между популяциями рачков из озер Б. Медвежье и М. Медвежье. Эти два озера расположены рядом и соединены между собой ручьем, который в маловодные годы может пересыхать, однако этого достаточно для потока генов и смешения популяций. Таким образом, артемию озер Б. Медвежье и М. Медвежье можно считать одной популяцией партеногенетической формы рачков. Это подтверждают ранее полученные данные при применении разных методических приемов, в том числе молекулярно-генетического анализа (Бойко, 2011).

На рис. 2 представлена диаграмма рассеивания центроидов по абсолютным признакам. Изученные популяции рачков дискриминируют две функции. Вероятно, под одной из них понимается соленость среды, поскольку наблюдается группировка популяций артемии из озер II, III и IV групп по возрастанию общей минерализации от точки пересечения осей.

На основании проведенного дискриминантного анализа можно сделать вывод о том, что соленость является главной дискриминирующей функцией, а наибольший вклад в разделение или дискриминацию изученных популяций рачков вносят такие переменные, как число щетинок на фурке и длина тела.

Оценивая полученные результаты в целом, можно заключить, что дифференциация изученных популяций артемии по морфометрическим

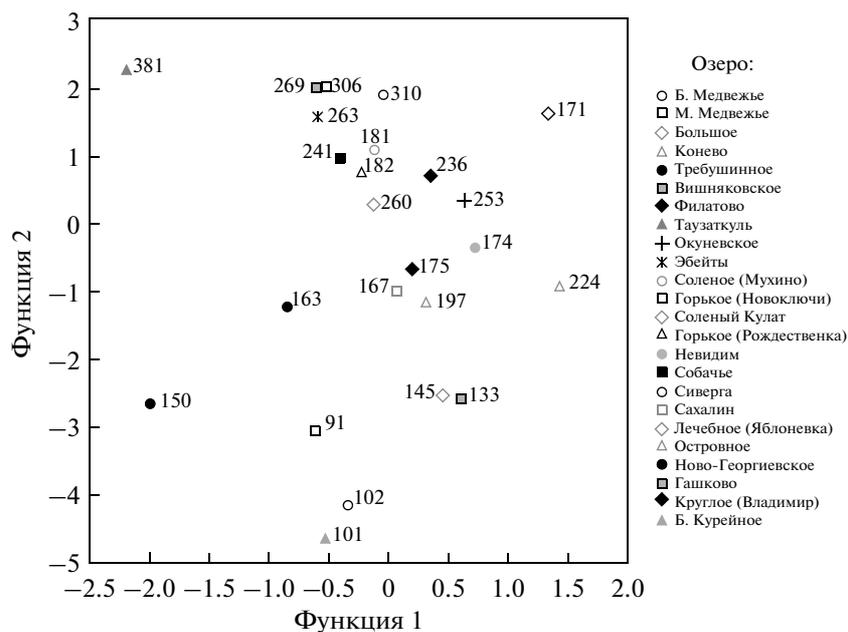


Рис. 2. Диаграмма рассеивания центроидов морфометрических параметров изученных популяций артемии.

данным в большей степени основана на влиянии факторов окружающей среды, т.е. паратипической компоненте, а генетическая вариация оказывает меньшее влияние.

Для более детального изучения влияния общей минерализации на параметры тела артемии рассчитали коэффициенты корреляции r_{xy} между соленостью (y) и основными морфометрическими характеристиками (x) артемии. Выявлена разная степень корреляции. Наиболее коррелировали с общей соленостью такие признаки, как ширина головы ($r_{xy} = -0.85^{***}$), ширина abdomena ($r_{xy} = -0.84^{***}$), число щетинок на фурке ($r_{xy} = -0.79^{***}$), длина фурки ($r_{xy} = -0.77^{***}$). Положительная корреляция обнаружена между минерализацией и индексом длины abdomena ($r_{xy} = 0.50^{**}$). Выявлены сильная корреляция между длиной первой антенны и минерализацией водоемов, коэффициент корреляции составил -0.70^{***} , отрицательная корреляция между длиной тела ($r_{xy} = -0.56^{**}$) и длиной abdomena рачков ($r_{xy} = -0.32^*$) с общей минерализацией водоемов. При увеличении солености длина тела и длина abdomena рачков уменьшались. Значения остальных показателей рачков также уменьшались с увеличением солености, т.е. тело рачков становилось более коротким. Следует отметить наличие в 2010 г. достаточно сильной сопряженности между соленостью среды и показателями роста артемии.

Сравнение сопряженности основных морфометрических параметров артемии с общей минерализацией водоемов за последние 10 лет исследований обнаружило сходные корреляции. Таким образом, морфометрический анализ половозре-

лых самок артемии водоемов Тюменской, Курганской, Челябинской, Омской и Новосибирской областей выявил определенную тенденцию, связанную с детерминированием значений ряда признаков с соленостью среды. Данный фактор является существенным в определении индивидуальных пропорций тела рачков популяций водоемов Урала и Западной Сибири.

Несмотря на наличие физиологических адаптационных механизмов, рачки подвержены отрицательному влиянию высокой минерализации и испытывают постоянный прессинг, который нарушает стабильность их развития. Известно, что одним из самых простых и удобных методов оценки стабильности развития является определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков, а именно различия числа структур слева и справа (Захаров, 1987; Захаров и др., 2000). В этом плане наиболее подходящий признак у рачков – число щетинок на правой и левой ветвях фурки. Статистически значимых различий в величине признака на левой и правой сторонах тела рачков нами не обнаружено ($p < 0.05$), что доказывает наличие флуктуирующей асимметрии. Показатели флуктуирующей асимметрии числа щетинок на левой и правой частях фурки артемии приведены в табл. 3.

Сравнение выраженности флуктуирующей асимметрии (A), доли асимметричных особей и величины дисперсии у 24 изученных популяций артемии выявило значительные различия. Уровень флуктуирующей асимметрии по изученному признаку у рачков, обитающих в более минерали-

Таблица 3. Характеристика флуктуирующей асимметрии в исследованных выборках рачков *Artemia*

Группа озер	Озеро	Соленость, г/л	Направленность асимметрии (M_d)	Выраженность флуктуирующей асимметрии (A)	Доля асимметричных особей, %	Дисперсия
II	Сиверга	102	0.13	1.07	73.0	2.07
	Требушинное	150	0.48	1.44	87.5	3.51
	Соленый Кулат	145	0.02	1.64	89.1	3.79
III	Горькое (Новоключи)	91	0.16	1.02	71.4	1.83
	Гашково	133	0.56	1.23	82.0	2.49
	Б. Курейное	101	0.50	1.72	77.8	6.65
	Вишняковское	213	0.06	0.40	36.1	0.50
	Невидим	174	0.13	0.81	66.7	1.31
	Ново-Георгиевское	163	0.34	0.91	70.3	1.58
	Большое	171	0.08	0.58	48.8	0.81
IV	Филатово	175	0.35	0.72	61.3	0.98
	Соленое (Мухино)	181	0.31	0.52	48.3	0.61
	Горькое (Рождественка)	182	0.32	0.74	70.7	0.82
	Собачье	241	0.20	1.03	79.0	1.93
	Сахалин	167	0.16	0.92	65.1	1.72
	Конево	224	0.25	1.10	67.8	2.23
	Островное	197	0.31	1.04	67.6	2.14
	Круглое (Владимир)	236	0.21	0.84	64.5	1.36
	Эбейты	263	0.30	0.73	63.3	0.98
	Б. Медвежье	310	0.17	0.31	29.4	0.34
	М. Медвежье	306	0.09	0.32	28.1	0.41
	Таузаткуль	381	0.34	0.80	80.0	1.18
	Окуневское	253	0.20	0.60	43.5	1.01
	Лечебное (Яблоневка)	260	0.02	0.32	28.2	0.40

зованных водоемах, оказался в несколько раз ниже: так, у рачков из озер Б. Медвежье, М. Медвежье и Лечебное (Яблоневка) выраженность флуктуирующей асимметрии, доля асимметричных особей и дисперсия оказались наименьшими. С другой стороны, рачки из менее минерализованных озер Б. Курейное, Солёный Кулат и Требушинное отличались значительно большей величиной выраженности флуктуирующей асимметрии, количества асимметричных особей в выборке и дисперсии.

На рис. 3 представлена зависимость показателей флуктуирующей асимметрии числа щетинок на правой и левой сторонах фурки рачков изученных популяций от общей минерализации водоемов. По всем трем показателям выявлена тенденция, связанная с уменьшением флуктуирующей асимметрии при увеличении солёности среды обитания артемии. Направление корреляции оказалось отрицательным, что подтвердило графически полученные закономерности.

Согласно мнению ученых, уровень асимметрии выше у организмов, обитающих при более нестабильных условиях (Захаров, 1987; Шадрин и др., 2005; Васильев, 2005). Концентрация солей выше 150 г/л оказывает на артемию негативное действие. Наиболее оптимальна для существования рачков концентрация солей 71–150 г/л (Литвиненко и др., 2009). Наши данные о флуктуирующей асимметрии числа щетинок на правой и левой сторонах фурки рачков изученных популяций продемонстрировали противоположную тенденцию: при более высокой минерализации водоемов уровень флуктуирующей асимметрии оказался ниже.

Полученные нами результаты в целом подтверждают данные предыдущих исследований (Бойко, Литвиненко, 2007; Литвиненко, Бойко, 2008; Фомин и др., 2010; Бойко и др., 2011).

ВЫВОДЫ

1. Проведен морфометрический анализ 24 популяций артемии из озер Курганской, Тюменской, Омской, Челябинской и Новосибирской областей. Наибольшими размерами отличались рачки из озер II группы, наименьшими — из оз. Таузаткуль. Изменчивость большинства морфометрических параметров оказалась незначительной. Вариация фуркальных характеристик, наоборот, достаточно высока.

2. Кластерный и дискриминантный анализы выявили наличие дифференциации изученных популяций артемии. Основным дифференцирующим фактором является общая минерализация водоемов.

3. Обнаружен феномен флуктуирующей асимметрии числа щетинок на правой и левой ветвях фурки рачков. Выявлена тенденция снижения

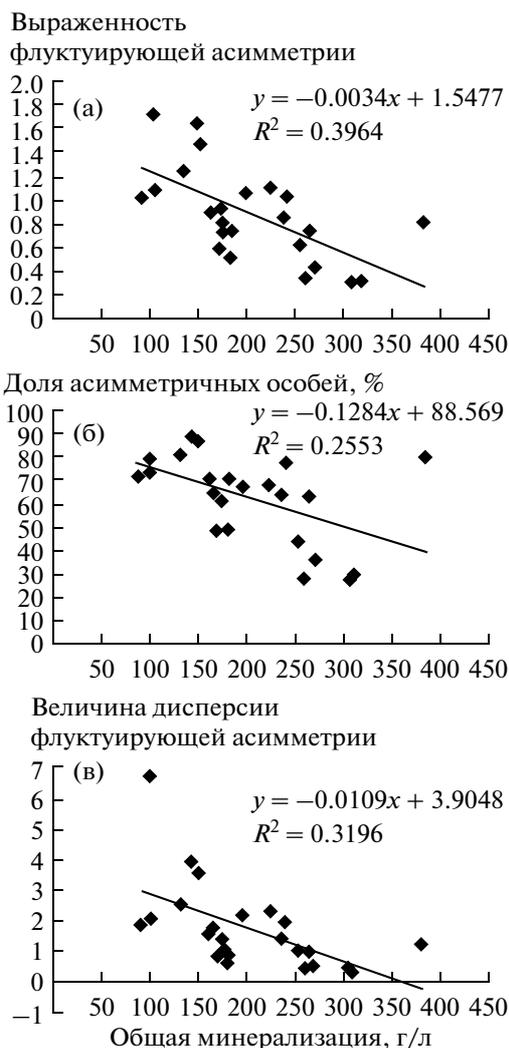


Рис. 3. Зависимости выраженности флуктуирующей асимметрии (а), доли асимметричных особей (б), величины дисперсии (в) от общей минерализации водоемов.

проявления флуктуирующей асимметрии выделенного признака с увеличением общей минерализации водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бойко Е.Г., Литвиненко Л.И. Влияние ряда экологических факторов на рост рачка *Artemia*, обитающего в соленых водоемах Западной Сибири // Вестн. ТюмГСХА. 2007. № 2 (3). С. 95–98.
- Бойко Е.Г., Литвиненко Л.И., Фомин А.Л., Кискин И.А. Популяционная дифференциация жаброногих рачков рода *Artemia* Leach, 1819 // Сибир. вестн. с.х. науки. 2011. № 2. С. 68–75.
- Бойко Е.Г. Динамика изменения морфометрических параметров рачков рода *Artemia* озера Медвежье Курганской области // Аграрный вестн. Урала. 2011. № 1 (80). С. 29–31.

- Боровиков В.П.* Популярное введение в программу Statistica. М.: Компьютер пресс, 1998. 268 с.
- Васильев А.Г.* Эпигенетические основы фенетики: на пути к популяционной мерономии. Екатеринбург: Академкнига, 2005. 639 с.
- Животовский Л.А.* Интеграция полигенных систем в популяциях. М.: Наука, 1984. 183 с.
- Захаров В.М.* Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 215 с.
- Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И.* и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- Литвиненко Л.И., Бойко Е.Г.* Морфологическая характеристика рачков артемии сибирских популяций // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 40–48.
- Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г.* Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2009. 304 с.
- Фомин А.Л., Кискин И.А., Бойко Е.Г.* Методы многомерного статистического анализа в изучении морфометрических параметров рачка *Artemia* // Вклад молодых ученых в рыбохозяйственную науку России: Сб. тр. конф. молодых ученых. Санкт-Петербург, 2010. С. 188–190.
- Шадрин Н.В., Миронов С.С., Веремеева Е.В.* Флуктуирующая асимметрия двусторчатых моллюсков песчаной сублиторали у берегов Крыма (Черное море) // Экология моря. 2005. Вып. 68. С. 93–98.
- Croghan P.C.* The osmotic and ionic regulation of *Artemia salina* (L.) // J. exp. Biol. 1958. V. 53. № 1. P. 219–233.
- Pilla E., Beardmore J.* Genetic and morphometric differentiation in Old World bisexual species of *Artemia* // Heredity. 1994. V. 73. P. 47–56.