



УДК 595.32 (571.1)

**Е.Г. БОЙКО\***, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,  
**Л.И. ЛИТВИНЕНКО**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией,  
**А.Л. ФОМИН**, младший научный сотрудник,  
**И.А. КИСКИН**, старший лаборант

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства»,  
\*ФГОУ ВПО «Тюменская государственная сельскохозяйственная академия»  
e-mail: egboyko@yandex.ru

### ПОПУЛЯЦИОННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЖАБРОНОГИХ РАЧКОВ РОДА *ARTEMIA* LEACH, 1819

Проведен анализ показателей роста жаброногих рачков рода *Artemia* из 13 популяций озер Тюменской, Курганской, Омской и Челябинской областей. На основании кластерного и дискриминантного анализов выявлена зависимость показателей роста рачков от общей минерализации водоемов. Установлено, что дифференциация изученных популяций артемии по морфометрическим данным в большей степени основана на влиянии факторов окружающей среды, т.е. паратипической компоненте. Генетическая вариация оказывает меньшее влияние на рост рачков.

**Ключевые слова:** артемия, соленость озер, морфометрический анализ, кластерный анализ, дискриминантный анализ, дендрограмма сходства.

В соляных озерах Западной Сибири широко распространены популяции рачка *Artemia*, представляющие большой научный и практический интерес. Рачок обладает универсальной осморегулирующей системой, что позволяет ему обитать при очень высокой солености практически в монокультуре. Артемия – важный объект в вопросах изучения эволюционных процессов, происходящих в животном мире, поскольку специализация различных популяций артемии в пределах рода сложна, многомерна и основана на влиянии условий окружающей среды на генотипическое разнообразие. Помимо научной артемия имеет практическую ценность, связанную с применением ее науплий в качестве живого корма для молоди практически всех ценных видов рыб и ракообразных. Это обусловлено быстрым ростом и высокой плодовитостью рачков, а также высоким содержанием белка, аминокислот, гормонов, витаминов, каротинов и жирных кислот. Артемия способна продуцировать цисты, которые легко заготавливать и транспортировать, а при необходимости культивировать и получать науплии.

Артемия характеризуется высокой экологической пластичностью. В зависимости от условий среды рачки способны менять форму и размеры [1]. Основным морфообразующим фактором для артемии является концентрация солей. Вместе с тем способность рачков изменять форму и размеры привела к большой путанице в систематике рода *Artemia*. Этому

способствовали и изменения в физиологии рачков, происходящие под влиянием солевых условий. Идентификация и установление видовой принадлежности артемии в популяциях озер Западной Сибири не закончены. Эти работы, основанные на применении различных методов, в том числе и морфометрических, продолжаются.

Цель настоящей работы – изучение дифференциации различных популяций ракообразных рода *Artemia* в озерах Западной Сибири на основе данных системного морфометрического анализа.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходного материала для морфометрических исследований послужили половозрелые самки артемии из партеногенетических популяций, выловленные в сентябре 2009 г. в озерах юга Западной Сибири: Малое Медвежье и Большое Медвежье, Вишняковское, Невидим, Ново-Георгиевское, Большое Курейное, Требушинное и Филатово Курганской области, Эбейты Омской области, Солёный Кулат и Таузаткуль Челябинской области, Сиверга и Окуневское Тюменской области. Сбор материала проводили стандартными методами планктонной сетью Апштейна из мельничного газа № 49–52. Рачков фиксировали в 4%-м растворе формалина. Камеральная обработка выполнена под стереоскопическим микроскопом МБС-10, оборудованным окуляр-микрометром. Анализ проводили по 17 морфометрическим признакам, из которых 15 пластических (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 ( $hw$ ), индексы: длины абдомена ( $al/tl$ ), ширины абдомена ( $aw/tl$ ), расстояния между глазами ( $de/tl$ ), диаметра глаз ( $ed/tl$ ), длины фурки ( $fl/tl$ ), длины первой антенны ( $la/tl$ ), ширины головы ( $hw/tl$ )) и два меристических (число щетинок на правой ( $sf-r$ ) и левой ( $sf-l$ ) фурках).

Статистическую обработку данных проводили по общепринятым методикам [2]. При анализе использовали среднюю величину ( $M$ ), ошибку средней величины ( $m$ ), величину коэффициента вариации ( $CV$ ), квадратичное или стандартное отклонение ( $\sigma$ ). Расчет всех числовых показателей произведен в программе Microsoft Excel. На основании полученных морфометрических данных проведены кластерный и дискриминантный анализы в программе Statistica. Анализ достоверности полученных различий проведен по  $t$ -критерию Стьюдента.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Географическое расположение, некоторые гидрологические и гидрохимические характеристики исследованных озер представлены в табл. 1. Общая площадь исследованных водоемов равна 247,39 км<sup>2</sup>. Вода озер чистая, прозрачная, высокоминерализованная, как правило, относится к хлоридному классу натриевой группы. В период исследований в сентябре 2009 г. солёность озер составляла от 87,3 (Сиверга) до 297,1 г/л (М. Медвежье).

Морфометрическая характеристика половозрелых самок артемии по изученным морфометрическим параметрам представлена в табл. 2. Наи-

Таблица 1

## Географическое расположение и некоторые характеристики обследованных артемиевых озер Западной Сибири

Озеро	Сумма ионов, г/л	Объем выборки, экз.	Географические координаты	Площадь, км <sup>2</sup>	Глубина, м	
					средняя	максимальная
<i>Челябинская область</i>						
Соленый Кулат	135,1	72	55 °00'N–61 °57' E	0,52	0,6	1,1
Таузаткуль	270,0	274	54 °25'N–61°53' E	12,60	0,8	1,2
<i>Курганская область</i>						
Филатово	141,7	31	54 °45'N–66 °58' E	23,67	0,5	1,1
Невидим	150,0	171	55 °08'N–66 °55' E	7,18	0,7	1,6
Требушинное	99,0	104	55 °02'N–66 °56' E	3,08	0,8	1,5
Б. Курейное	92,4	75	54 °56'N–66 °56' E	3,71	0,6	1,6
Ново-Георгиевское	125,6	109	55 °19'N–67 °52' E	1,85	1,0	1,5
Б. Медвежье	276,8	272	55 °15'N–67 °50' E	38,30	0,8	1,3
М. Медвежье	297,1	178	55 °15'N–68 °05' E	18,10	0,8	1,2
Вишняковское	231,0	120	54 °44'N–63 °4' E	2,20	0,9	1,8
<i>Тюменская область</i>						
Окуневское	159,3	81	55 °43'N–68 °40' E	0,75	0,8	1,2
Сиверга	87,3	288	55 °23'N–68 °45' E	52,13	0,6	1,3
<i>Омская область</i>						
Эбейты	206,4	246	54 °40'N–71 ° 5' E	83,30	0,4	0,7
Итого...		2021		247,39		

большими длинами тела и абдомена отличалась артемия из оз. Вишняковское. По остальным параметрам преобладала артемия из оз. Требушинное. Рачки из озер М. Медвежье и Б. Медвежье характеризовались минимальными значениями большинства проанализированных признаков.

Абсолютные значения приведены в систему индексов от длины тела рачков. Индексы или относительные значения признаков отражают определенные биологические закономерности [3], поэтому являются более информативными, чем исходные величины, в отличие от абсолютных признаков, имеющих большую зависимость от факторов окружающей среды. Значения наиболее стабильного ( $CV = 7\%$ ) показателя индекса длины абдомена (индекс  $ra$ ) варьировали от 53,35 % у рачков из оз. Требушинное до 62,42 % у рачков из оз. Б. Медвежье. По трем из семи индексов преобладали рачки из оз. Требушинное, по двум – из оз. Сиверга.

Следует отметить, что различия основных морфометрических показателей самок артемии исследованных озер оказались достоверными по большей части признаков (86,3 %). Наименьшее количество достоверных различий обнаружено между артемией из оз. Б. Курейное и рачками из озер Сиверга, Филатово и Требушинное, а также между артемией из близ-

Таблица 2

## Морфометрическая характеристика рачков исследованных озер

Признак	$M \pm m$			$\sigma$	С <sub>у</sub> , %
	min (озеро)	max (озеро)	$M$		
<i>tl</i> , мм	8,99 ± 0,08 (Окуневское)	12,36 ± 0,09 (Вишняковское)	10,20 ± 0,04	1,57	15
<i>al</i> , мм	4,85 ± 0,02 (Сиверга)	7,68 ± 0,06 (Вишняковское)	6,02 ± 0,03	1,12	19
<i>aw</i> , мм	0,35 ± 0,003 (М. Медвежье)	0,66 ± 0,01 (Ново-Георгиевское)	0,51 ± 0,003	0,12	24
<i>de</i> , мм	1,08 ± 0,01 (Б. Медвежье)	1,72 ± 0,01 (Ново-Георгиевское)	1,39 ± 0,01	0,25	18
<i>ed</i> , мм	0,18 ± 0,002 (Б. Медвежье)	0,28 ± 0,003 (Соленый Кулат, Невидим, Ново-Георгиевское)	0,23 ± 0,001	0,04	19
<i>sf-l</i> , шт.	1,17 ± 0,03 (Б. Медвежье)	9,84 ± 0,25 (Требушинное)	4,02 ± 0,08	3,60	90
<i>sf-r</i> , шт.	1,13 ± 0,03 (Б. Медвежье)	9,78 ± 0,24 (Требушинное)	4,05 ± 0,08	3,66	91
<i>fl</i> , мм	0,05 ± 0,002 (Б. Медвежье)	0,36 ± 0,01 (Требушинное)	0,15 ± 0,002	0,10	71
<i>la</i> , мм	0,68 ± 0,01 (Эбейты, Окуневское)	1,10 ± 0,02 (Невидим, Соленый Кулат)	0,85 ± 0,004	0,18	21
<i>hw</i> , мм	0,41 ± 0,004 (М. Медвежье)	0,78 ± 0,01 (Ново-Георгиевское)	0,60 ± 0,003	0,13	22
<i>al/tl</i> , %	53,35 ± 0,25 (Требушинное)	62,42 ± 0,13 (Б. Медвежье)	58,86 ± 0,09	3,98	7
<i>aw/tl</i> , %	3,84 ± 0,03 (М. Медвежье)	6,82 ± 0,08 (Требушинное)	5,05 ± 0,03	1,17	23
<i>de/tl</i> , %	11,64 ± 0,05 (Б. Медвежье)	16,67 ± 0,07 (Сиверга)	13,70 ± 0,05	2,17	16
<i>ed/tl</i> , %	1,96 ± 0,02 (Б. Медвежье)	2,78 ± 0,03 (Требушинное)	2,29 ± 0,01	0,40	17
<i>fl/tl</i> , %	0,53 ± 0,02 (Б. Медвежье)	3,83 ± 0,08 (Требушинное)	1,43 ± 0,02	1,03	72
<i>la/tl</i> , %	7,06 ± 0,06 (Эбейты)	10,21 ± 0,06 (Сиверга)	8,38 ± 0,03	1,53	18
<i>hw/tl</i> , %	4,47 ± 0,04 (М. Медвежье)	7,68 ± 0,06 (Сиверга)	5,89 ± 0,03	1,28	22

корасположенных озер Б. Медвежье и М. Медвежье. Сходство между этими двумя популяциями обусловлено наличием связи между озерами через небольшой ручей, что обеспечивает поток генов через миграцию особей и, следовательно, смешение популяций.

Оценка уровня фенотипического разнообразия выявила, что наиболее переменными из всех изученных признаков оказались число щетинок на правой и левой фурках, длина фурки, а также индекс длины фурки. Коэффициент вариации числа щетинок рачков достиг 113,6 % (Невидим), длины фурки – 52,0 % (Б. Медвежье), индекса длины фурки – 50,1 % (Б. Медвежье). Наименьшая переменность отмечена по индексу длины абдомена. Коэффициент вариации данного признака изменялся от 3,1 % у рачка из оз. Вишняковское до 7,1 % у рачков из оз. Филатово. В сентябре 2009 г. отмечен большой размах популяционных колебаний анализируе-

мых признаков. В целом коэффициенты вариации морфометрических параметров артемии редко превышали 25 %, за исключением таких показателей, как число щетинок на фурках, длина фурки и индекс длины фурки. Это свидетельствует о среднем уровне изменчивости показателей роста рачка [2]. Существование артемии в приблизительно одинаковых условиях, лимитированных, главным образом, соленостью среды, приводит к снижению общей фенотипической изменчивости по большей части признаков, за исключением фуркальных характеристик. Это связано прежде всего с тем, что число щетинок на фурке и длина фурки напрямую зависят от минерализации водоема, которая изменяется в широких пределах в течение одного вегетационного сезона. Полученные закономерности подтверждают данные предыдущих лет исследований [4].

Дифференцированное группирование исследованных популяций артемии по всему комплексу морфометрических показателей представлено на рис. 1. Кластерный анализ показал наличие трех неравнозначных кластеров, достоверно различающихся между собой. Наименьший кластер объединил артемию трех озер: Сиверга, Б. Курейное и Требушинное. Общая минерализация озер данного кластера в период исследований в среднем составила  $92,9 \pm 3,4$  г/л при коэффициенте вариации минерализации 6,3 %. Второй кластер включает артемию из озер Филатово, Невидим, Ново-Георгиевское и Солёный Кулат. Общая минерализация озер данного кластера в период исследований составила  $138,1 \pm 5,2$  г/л при коэффициенте вариации минерализации 7,5 %. Третий кластер объединил рачков из озер Окуневское, Эбейты, Вишняковское, Таузаткуль, Б. Медвежье и М. Медвежье. Средняя соленость озер данной группы равнялась  $240,1 \pm 21,0$  г/л с коэффициентом вариации 21,4 %.

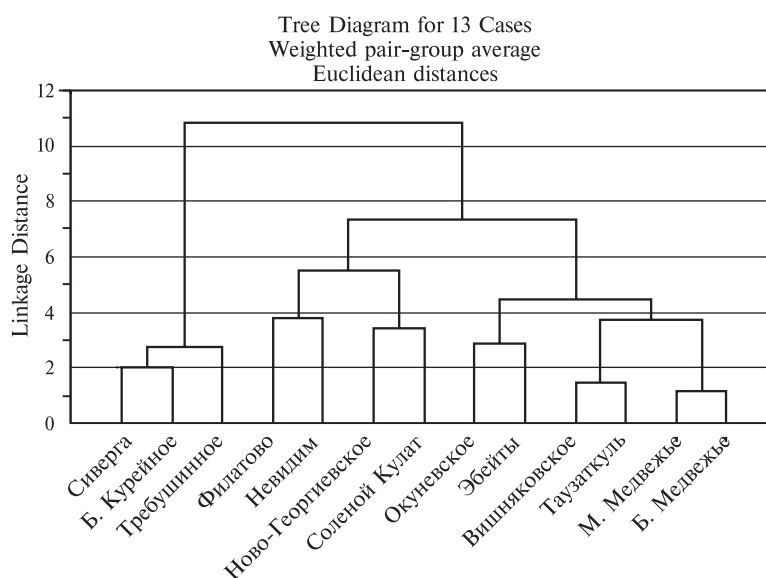


Рис. 1. Дендрограмма сходства изученных популяций артемии

Таким образом, наблюдается четкое распределение изученных популяций артемии в три группы: 1-я включает рачков из озер с соленостью менее 100 г/л, 2-я – от 100 до 150, 3-я – более 150 г/л. Следует отметить, что не географическая разобщенность, а общая сумма ионов в водоеме является основным дифференцирующим фактором [5].

Помимо кластерного анализа, основной задачей которого является объединение объектов в иерархическое древо, применен дискриминантный анализ. В связи с разным вкладом генетической компоненты в развитие абсолютных и относительных признаков дискриминацию провели отдельно по абсолютным признакам и индексам. Значения коэффициента лямбда Уилкса находились в интервале от 0 до 1, равнялись 0,007 (по абсолютным признакам) и 0,035 (по относительным). Таким образом, наблюдается четкая дискриминация изученных популяций рачков.

Для каждой совокупности определили положение точки, представляющей средние для всех переменных в многомерном пространстве, т.е. центроиды групп. Произвели расчет расстояния Махаланобиса от каждого центра группы, которое является мерой расстояния между двумя точками в пространстве, определяемым двумя и более коррелированными переменными. Чем меньше значение расстояния Махаланобиса, тем ближе центроиды находятся друг к другу. Анализируя полученные данные, можно констатировать, что наименьшее расстояние между центроидами рассматриваемых переменных наблюдается между популяциями рачков из озер Б. Медвежье и М. Медвежье (1,6 – по абсолютным, 1,9 – по относительным). Рачков из этих озер следует считать одной популяцией вида. Наибольшее значение расстояния Махаланобиса отмечены между рачками из озер Б. Медвежье и Требушинное (81,5 – по абсолютным, 65,8 – по относительным). В целом значения расстояния Махаланобиса между центроидами групп по относительным признакам оказались меньшими, чем по абсолютным.

На рис. 2 представлена диаграмма рассеивания центроидов по абсолютным (а) и относительным (б) признакам. Две дискриминирующие функции вносят основной вклад в разделение изученных популяций рачков. Больше влияние оказывает функция 1 (root 1). На диаграмме просматривается четкое группирование популяций рачков из озер по солености в векторном расположении по оси У, поэтому, вероятнее всего, под функцией 1 подразумевается соленость среды.

На основании проведенного дискриминантного анализа можно сделать вывод, что наибольший вклад в разделение или дискриминацию изученных популяций рачков вносят такие переменные, как длина фурки, ширина абдомена, индексы ширины абдомена и длины фурки, а соленость является главной дискриминирующей функцией.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов можно сделать вывод, что дифференциация изученных популяций артемии по морфометрическим данным в большей степени основана на влиянии факторов окружающей среды, т.е. паратипической компоненте. Генетическая вариация оказывает меньшее влияние на рост рачков. Общая минерализация водоемов значительно влияет на индивидуальные пропорции артемии.

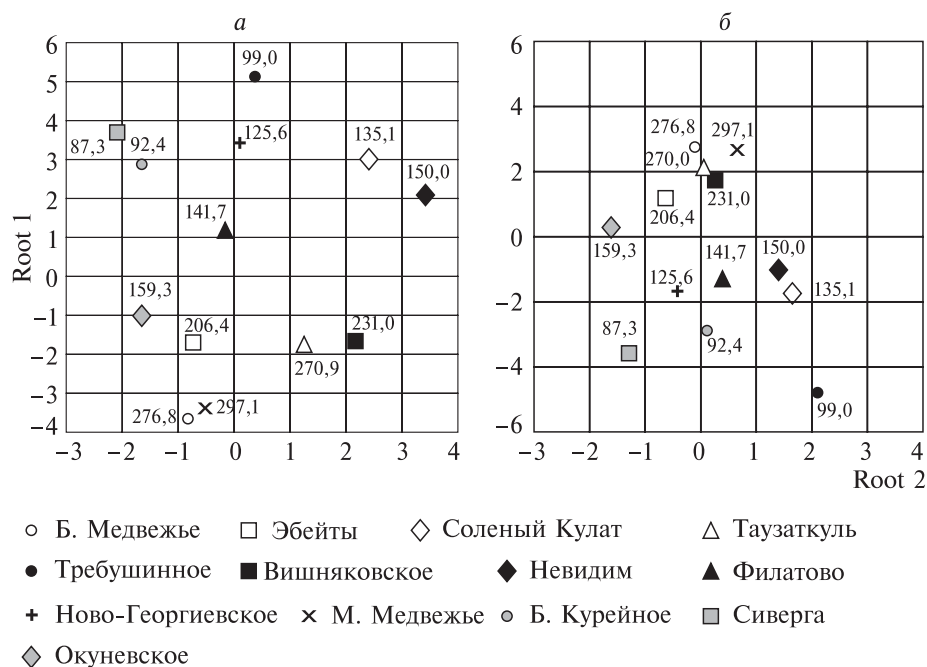


Рис. 2. Диаграмма рассеивания центроидов переменных изученных популяций артемии:

а – по абсолютным признакам, б – по относительным признакам (с показателями солености воды, г/л)

### ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ показателей роста жаброногих рачков рода *Artemia* из 13 партеногенетических популяций озер Тюменской, Курганской, Омской и Челябинской областей по 17 морфометрическим параметрам. Наибольшими размерами отличаются рачки из оз. Вишняковское. Изменчивость большинства изученных морфометрических параметров оказалась незначительной, за исключением фуркальных характеристик.

2. Выявлена дифференциация изученных популяций артемии, которые распределились в три кластера: обитающие в озерах с соленостью до 100 г/л, от 100 до 200 и более 200 г/л.

3. Основной дискриминирующей функцией является общая минерализация водоемов. Наибольший вклад в разделение изученных популяций рачка вносят такие переменные, как длина фурки, ширина абдомена, индексы ширины абдомена и длины фурки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pilla E., Beardmore J. Genetic and morfometric differentiation in Old World bisexual species of *Artemia* // Heredity 73. – 1994. – P. 47–56.
2. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
3. Животовский Л.А. Интеграция полигенных систем в популяциях. – М.: Наука, 1984. – 183 с.

4. Литвиненко Л.И., Бойко Е.Г. Морфологическая характеристика рачков артемии сибирских популяций // Биология внутренних вод. – 2008. – № 1. – С. 40–48.
5. 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.

Поступила в редакцию 11.10.2010

**E.G. BOYKO\***, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher,  
**L.I. LITVINENKO**, Doctor of Science in Biology, Laboratory Head,  
**A.L. FOMIN**, Junior Researcher,  
**I.A. KISKIN**, Senior Laboratory Assistant

Federal State Unitary Enterprise "State Scientific Research Centre of Fish Farming",  
\*Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education  
"Tyumen State Agricultural Academy"  
e-mail: egboyko@yandex.ru

#### POPULATION DIFFERENTIATION OF FAIRY SHRIMPS OF THE GENUS *ARTEMIA* LEACH, 1819

There was carried out the analysis of growth characteristics in fairy shrimps of the genus *Artemia* from 13 populations of the lakes in the territory of Tyumen, Kurgan, Omsk and Chelyabinsk Regions. Based on the cluster and discriminant analyses, there was revealed a dependence of growth characteristics in shrimps on total mineralization of water bodies. It was established that differentiation of the *Artemia* populations studied according to the morphometric data was to a greater degree based on the effect of environmental factors that is a paratypic component. Genetic variance was established to a lesser extent influence the growth of shrimps.

**Keywords:** fairy shrimp, salinity of lakes, morphometric analysis, cluster analysis, discriminant analysis, affinity dendrogram.

УДК 639.371.5

**Л.И. ЗАКОННОВА**, кандидат биологических наук, начальник научного отдела

Беловский филиал ГОУ ВПО «Кузбасский государственный политехнический университет»  
e-mail: belovo.kemsu@mail.ru

#### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЖЛИНЕЙНЫХ ГИБРИДОВ БЕЛОВСКОГО КАРПА

Представлена технология использования производителей беловского карпа. Показаны оптимальные рыбоводные результаты, полученные при скрещивании чешуйчатых самок с самцами из линии разбросанного карпа. Установлен гетерозисный эффект у межлинейных гибридов первого селекционного поколения, выразившийся в повышении выживаемости рыб. Выявлена возможность использования производителей карпа для получения промышленной гетерозисной молоди начиная с первого поколения селекции.

**Ключевые слова:** беловский карп, исходное селекционное стадо, межлинейное скрещивание, гетерозисная молодь карпа.

Одним из ведущих направлений тепловодной селекции рыбы ряд авторов считают отбор быстрорастущих, раносозревающих, жизнестойких особей [1]. При этом селекционный эффект может быть использован в