

ОЦЕНКА ВНУТРИ- И МЕЖПОРОДНЫХ РАЗЛИЧИЙ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ РАБОЧИХ ОСОБЕЙ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БИОМОНИТОРИНГА

А. А. Брагазин, А. А. Радаев, А. А. Нижегородцев, Д. Б. Гелашвили

Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского
Россия, 603950, Н. Новгород, просп. Гагарина, 23
E-mail: ecology@bio.unn.ru

Поступила в редакцию 29.10.12 г.

Оценка внутри- и межпородных различий экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы для целей биомониторинга. – Брагазин А. А., Радаев А. А., Нижегородцев А. А., Гелашвили Д. Б. – В работе проведена оценка дискриминирующей роли и вклада экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы, относящихся к породам *Apis mellifera carnica* Pollmann, 1879 и *Apis mellifera caucasica* Gorbachev, 1916, во внутрипородные межсемейные различия, а также выявление характера различий пород по всему набору экстерьерных признаков с помощью дискриминантного анализа. В анализе были использованы шесть экстерьерных признаков: ширина 3-го тергита, длина 3-го тергита, длина правого переднего крыла, ширина правого переднего крыла, кубитальный индекс, дискоидальное смещение. Установление породной принадлежности является нетривиальной задачей. Полученные для каждой породы уравнения функции классификации позволили на основе совокупности анализируемых признаков экстерьера идентифицировать породу. Установлено, что признак «Длина крыла» статистически значимо разделяет, по крайней мере, половину семей в обеих породах.

Ключевые слова: *Apis mellifera carnica*, *Apis mellifera caucasica*, экстерьерные признаки, непараметрический дискриминантный анализ.

Evaluation of intra-breed and inter-breed differences in exterior signs of working honey-bee individuals for biomonitoring purposes. – Bragazin A. A., Radaev A. A., Nizhegorodtsev A. A., and Gelashvili D. B. – The discriminating role and contribution of some exterior signs of working honeybee individuals (*Apis mellifera carnica* Pollmann, 1879 and *Apis mellifera caucasica* Gorbachev, 1916) to intra-breed inter-family differences were evaluated. The nature of breed differences over the whole set of exterior signs was revealed. Six exterior signs were used for our analysis, namely, the width of the third tergite, the length of the third tergite, the length of the right-hand front fender, the width of the right-hand front wing, cubital index, and discoidal shift. Breed identification is not a trivial task. Equations for the classification function have been obtained for each breed, which enable one to identify the breed on the basis of total analyzable exterior characteristics. The «wing length» sign was found to significantly divide at least half of the families in both breeds.

Key words: *Apis mellifera carnica*, *Apis mellifera caucasica*, exterior signs, non-parametric discriminant analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Апимониторинг является существенной и перспективной составной частью комплексного биомониторинга загрязнения окружающей среды (Радаев, 2001; Ломаев, Бондарева, 2007; Билалов и др., 2010; Celli, Maccagnani, 2003; Ponikvar et al., 2005; Bogdanov, 2006; Johnson et al., 2010; Lazor et al., 2012). Применение для целей апимониторинга экстерьерных признаков рабочих пчел с учетом их модифика-

ционной изменчивости должно быть основано на корректной процедуре статистического анализа экстерьерных признаков и сравнения показателей с требованиями стандарта породы.

В нашей предыдущей работе (Брагазин и др., 2012) проверка внутривидовой однородности семей по экстерьерным признакам не выявила статистически значимых внутрисемейных различий между особями ($p > 0.05$), что позволило рассматривать каждую семью как однородную совокупность. С помощью критерия Крускала – Уоллиса были установлены статистически значимые внутривидовые межсемейные различия экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы, представленных двумя породами – *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*.

При использовании экстерьерных признаков в качестве биоиндикационных показателей в процедуре апимониторинга необходимо учитывать такой немаловажный фактор, как их естественная изменчивость. Единицей изменчивости у таких общественных насекомых, как медоносные пчелы, является не популяция, а гораздо более мелкие совокупности – семьи (Алпатов, 1948). Поэтому при изучении внутри- и межсемейной изменчивости необходимо брать пчел из как можно большего количества семей, чтобы составить полное представление о варьировании признака и применимости его в качестве биоиндикационного показателя.

Целью настоящей работы была оценка дискриминирующей роли и вклада каждого из шести анализируемых признаков в межсемейные различия представленных пород медоносных пчел, а также выявление характера различий пород по всему набору указанных экстерьерных признаков с помощью дискриминантного анализа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пчелы породы *A. m. carnica* были собраны в 2011 г. на племенных пасеках, принадлежащих ФГУ ПППХ «Майкопское». Пчелы породы *A. m. caucasica* были получены в этом же году на пасеках ГНУ «Краснополянская опытная станция пчеловодства» НИИ Пчеловодства РСХА. Обучающие выборки каждой породы были представлены 240 особями рабочих пчел, относящихся к 8 семьям (по 30 особей рабочих пчел из каждой семьи). В выборку породы *A. m. carnica* входили пчелы из семей № 1 – 8. В выборку породы *A. m. caucasica* – из семей № 9 – 16.

Использование чистопородных пчел *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* было обусловлено необходимостью установления межсемейной изменчивости признаков на относительно однородном морфологическом материале.

Анализ экстерьерных признаков проводили по шести основным морфометрическим признакам рабочих пчел: ширина 3-го тергита (ШЗТ) – расстояние между выступами 3-го тергита; длина 3-го тергита (ДЗТ), длина правого переднего крыла (ДППК), ширина правого переднего крыла (ШППК), кубитальный индекс (C_i), дискоидальное смещение (положительное дискоидальное смещение (ПДС), нейтральное дискоидальное смещение (НДС), отрицательное дискоидальное смещение (ОДС)).

Все промеры экстерьерных признаков выполнялись по стандартной схеме (Николаенко, 2005; Кривцов и др., 2009; Конусова и др., 2010). Измерения экс-

ОЦЕНКА ВНУТРИ- И МЕЖПОРОДНЫХ РАЗЛИЧИЙ

терьерных признаков производились с помощью стереоскопического микроскопа МБС-9, при этом пользовались окуляром 8× с диоптрийной наводкой со сменной шкалой.

В ходе проверки на нормальность распределения исходных данных экстерьерных признаков, проведённой с помощью критериев Колмогорова – Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро – Уилка, выяснилось, что среди большинства семей изучаемых пород нормальному распределению подчинялись только «Кубитальный индекс» и «Ширина 3-го тергита». Ввиду того, что одни и те же нормально распределённые признаки встречались не во всех используемых в анализе выборках, мы воспользовались непараметрическим дискриминантным анализом. Для его проведения был применён модуль GDA (Общие модели дискриминантного анализа) программы STATISTICA 6.1, позволяющий, в том числе, использовать в анализе категориальные переменные.

В ходе дискриминантного анализа использовались следующие статистические критерии: критерий Уилкса и рассчитывающийся на его основе F -критерий значимости, квадраты расстояний Махаланобиса; стандартизованная оценка параметра (β), его уровни значимости; функции классификации.

Под названием «критерий Уилкса» в программе STATISTICA 6.1 следует понимать частную лямбду, являющуюся отношением лямбды Уилкса после добавления соответствующей переменной в модель к лямбде Уилкса до добавления этой переменной. Частная лямбда характеризует единичный вклад переменной в раздельную силу модели и принимает значения в том же интервале, что и лямбда Уилкса (StatSoft, 2012).

Для характеристики близости расположения в евклидовом пространстве друг к другу классов объектов использовали квадрат расстояния Махаланобиса, являющегося расстоянием между центроидами классов объектов.

β -коэффициенты позволяют оценивать относительный вклад каждой независимой переменной в предсказание зависимой. Переменные с наибольшими β -коэффициентами вносят наибольший вклад в дискриминацию. Знаки β -коэффициентов определяют вектор направленности значений дискриминантной переменной: положительный говорит о возрастании значений рассматриваемой переменной для соответствующего класса объектов, отрицательный свидетельствует об обратном (Халафян, 2007; StatSoft, 2012).

В процессе проведения дискриминантного анализа вычисляются коэффициенты уравнений классификационных функций для каждого класса, которые используются непосредственно для классификации наблюдений. Наблюдение относят к классу объектов, для которого оно имеет наивысшую классификационную оценку (Клекка, 1989; StatSoft, 2012). Верификация полученных уравнений классификационных функций была проведена на основе двух экзаменационных выборок из каждой породы ($n = 20$), состоящих из пчёл, не включённых в обучающие выборки. Результаты верификации оценивали по отношению количества верно классифицированных объектов к их общему числу, выраженному в процентах. Полученные результаты сравнивали с аналогичными значениями, выдаваемыми программой в виде таблицы «Матрица классификации для анализируемой выборки», составленной по обучающим выборкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Непараметрический дискриминантный анализ внутривидовых межсезонных различий экстерьерных признаков рабочих пчел пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*. Результаты непараметрического дискриминантного анализа межсезонных различий по шести экстерьерным признакам рабочих пчел, относящихся к породам *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Многомерные критерии и уровни значимости по итогам непараметрического дискриминантного анализа межсезонных различий по шести экстерьерным признакам рабочих пчел пород *A. m. carnica* (8 семей, $n = 240$) и *A. m. caucasica* (8 семей, $n = 240$)

Признак	<i>A. m. carnica</i>			<i>A. m. caucasica</i>		
	Критерий Уилкса	<i>F</i>	<i>p</i>	Критерий Уилкса	<i>F</i>	<i>p</i>
Длина 3-го тергита	0.73	11.81	<0.01	0.90	3.62	<0.01
Ширина 3-го тергита	0.84	6.11	<0.01	0.86	5.08	<0.01
Ширина крыла	0.60	21.28	<0.01	0.80	8.31	<0.01
Длина крыла	0.42	43.69	<0.01	0.84	6.18	<0.01
Кубитальный индекс	0.81	7.51	<0.01	0.86	5.14	<0.01
Дискоидальное смещение	0.89	1.97	<0.02	0.76	4.69	<0.01

Анализ экстерьерных признаков рабочих пчел породы *A. m. carnica* показал, что между семьями наблюдалась статистически значимая дискриминация по всем экстерьерным признакам. Семьи больше всего различались по параметрам «Длина крыла» и «Ширина крыла», при этом наибольшей разделительной силой между семьями обладал признак «Длина крыла», так как ему соответствовало наименьшее значение критерия Уилкса.

Непараметрический дискриминантный анализ межсезонных различий пчел породы *A. m. caucasica* показал, что семьи этой породы также имели статистически значимые различия по исходному набору экстерьерных признаков. Но в отличие от *A. m. carnica* для семей породы *A. m. caucasica* наибольшей дискриминирующей силой обладал признак «Дискоидальное смещение».

Анализ квадратов расстояний Махаланобиса между центроидами классов объектов, образованных семьями породы *A. m. carnica*, показал, что незначимые расстояния ($p > 0.05$) наблюдались между центроидами классов семей в следующих парах: 1 и 2; 1 и 6; 4 и 3. Можно заключить, что для этих пяти семей в пространстве шести экстерьерных признаков имеет место сильное перекрытие значений признаков. Это приводит к слабой дискриминации, причём в наименьшей степени отличалась от остальных семья 6. По нашему мнению, эти пять наиболее близких семей являются самыми характерными представителями изучаемой выборки медоносных пчел породы *A. m. carnica*, так как они образуют самое большое количество связей с наименьшими различиями по экстерьерным признакам.

Для породы *A. m. caucasica* статистически значимых различий по квадратам расстояний Махаланобиса между центроидами классов не было обнаружено между семьями 10 и 9, 14 и 16 ($p > 0.05$), следовательно, именно они представляют группу наиболее сходных семей.

ОЦЕНКА ВНУТРИ- И МЕЖПОРОДНЫХ РАЗЛИЧИЙ

Анализ *beta*-коэффициентов, свидетельствующих о том, по каким из имеющихся экстерьерных признаков статистически значимо различаются семьи, показал, что более половины семей породы *A. m. carnica* значимо различались ($p < 0.05$) по признакам «Длина крыла» (7 семей) и «Длина 3-го тергита» (6 семей). Для породы *A. m. caucasica* ключевыми признаками, по которым различались семьи, были «Ширина крыла» (5 семей) и «Длина крыла» (4 семьи).

Таким образом, анализ внутривидовых межсемейных различий пород медоносной пчелы *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* с помощью критерия Уилкса выявил статистически значимые различия между семьями обеих пород по всем имеющимся признакам. Однако оценка статистической значимости расстояний между классами объектов с помощью квадрата расстояния Махаланобиса показала, что примерно между половиной семей в обеих породах не наблюдается статистически значимых различий. Последнее говорит о внутривидовой морфологической гетерогенности. При этом, по крайней мере, половина семей в обеих породах хорошо дискриминировалась по признаку «Длина крыла», о чём свидетельствует анализ *beta*-коэффициентов.

Дискриминантный анализ межпородных различий экстерьерных признаков пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*. Чтобы выяснить силу различий между анализируемыми породами, в качестве группирующей переменной в GDA была задана принадлежность к породе. По результатам анализа выяснилось, что породы не различались по признаку «Длина 3-го тергита» (табл. 2), тогда как по всем остальным признакам статистически значимые различия наблюдались. Самый существенный вклад в разделение пород вносил «Кубитальный индекс», что оправдывает его общеизвестную первостепенную важность в породной идентификации медоносных пчёл (Алпатов, 1948; Руттнер, 2006).

Таблица 2

Многомерные критерии и уровни значимости по итогам непараметрического дискриминантного анализа межпородных различий по шести экстерьерным признакам исследуемых пород медоносной пчелы *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*

Признак	Критерий Уилкса	<i>F</i>	<i>p</i>
Длина 3-го тергита	1.00	0.04	<0.85
Ширина 3-го тергита	0.99	4.94	<0.03
Ширина крыла	0.96	18.27	<0.01
Длина крыла	0.97	12.51	<0.01
Кубитальный индекс	0.72	180.86	<0.01
Дискоидальное смещение	0.83	49.70	<0.01

Примечание. Жирным выделены многомерные критерии для признаков, которые вносят статистически значимый вклад в дискриминацию пород.

Оценка расстояния между центроидами классов объектов (пород) с помощью квадрата расстояния Махаланобиса показала их статистическую значимость ($p < 0.05$). Это свидетельствует о том, что в пространстве значений шести экстерьерных признаков их совокупное влияние дискриминирует центроиды изучаемых совокупностей на статистически значимое расстояние друг от друга.

На основе анализа знаков перед статистически значимыми *beta*-коэффициентами (табл. 3) можно сделать вывод о характере различий между породами по каждому из шести признаков. Порода *A. m. carnica* отличалась меньшими значениями признаков «Длина крыла» и «Кубитальный индекс» от соответствующих значений признаков породы *A. m. caucasica*. Последняя имела статистически значимо меньшие значения параметров «Ширина 3-го тергита» и «Ширина крыла» по сравнению с породой *A. m. carnica*.

Таблица 3

Beta-коэффициенты и уровни значимости для шести экстерьерных признаков пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* по итогам непараметрического дискриминантного анализа межпородных различий

Признак	<i>A. m. carnica</i>		<i>A. m. caucasica</i>	
	<i>beta</i>	<i>p</i>	<i>beta</i>	<i>p</i>
Длина 3-го тергита	0.01	<0.85	-0.01	<0.85
Ширина 3-го тергита	0.08	<0.03	-0.08	<0.03
Ширина крыла	0.16	<0.01	-0.16	<0.01
Длина крыла	-0.12	<0.01	0.12	<0.01
Кубитальный индекс	-0.48	<0.01	0.48	<0.01
Положительное дискоидальное смещение	0.36	<0.01	-0.36	<0.01
Нейтральное дискоидальное смещение	-0.07	<0.04	0.07	<0.04

Примечание. Жирным выделены *beta*-коэффициенты признаков, которые вносят статистически значимый вклад в дискриминацию пород.

Основываясь на анализе *beta*-коэффициентов, можно сделать выводы о некоторых морфологических отличиях рабочих пчёл исследуемых выборок двух пород медоносной пчелы. Рабочие пчелы породы *A. m. carnica* имели более широкие и короткие крылья, более широкие тергиты, им были свойственны меньшие значения кубитального индекса и большее число случаев положительного дискоидального смещения крыла по сравнению с таковыми у *A. m. caucasica*. Для последней породы, напротив, были характерны более вытянутые и длинные крылья, менее широкие тергиты, большие значения кубитального индекса и меньшее число случаев с «положительным» дискоидальным смещением.

С помощью модуля GDA были получены коэффициенты для переменных (признаков) функции классификации (*Y*) для обеих пород и построены уравнения классификационных функций, способных идентифицировать породу пчелы по набору экстерьерных признаков. Уравнения имеют следующий вид:

$$Y_{Carnica} = -2067.26 + 417.95ДЗТ + 51.18ШЗТ + 153.12ШППК + 243.58ДППК + 2.5Ci - 0.64ПДС + 9.53НДС, \quad (1)$$

$$Y_{Caucasica} = -2069.7 + 417.44ДЗТ + 48.62ШЗТ + 144.64ШППК + 247.15ДППК + 2.76Ci - 2.9ПДС + 10.09НДС. \quad (2)$$

Градацию «Отрицательное дискоидальное смещение» программа удалила из моделей (1) и (2) для минимизации доли ошибочной классификации.

Верификация функций классификации. Верификация уравнений классификационных функций, способных идентифицировать породу пчелы по набору

ОЦЕНКА ВНУТРИ- И МЕЖПОРОДНЫХ РАЗЛИЧИЙ

экстерьерных признаков, была проведена на основе двух экзаменационных выборок каждой породы ($n = 20$), состоящих из пчёл, ранее не использовавшихся в анализе. Результаты расчетов квадратов расстояний Махаланобиса и апостериорных вероятностей для экзаменационных выборок, полученных с помощью модуля GDA, представлены в табл. 4. Критерием отнесения наблюдения (пчелы) из экзаменационной выборки к той или иной породе является максимальное значение апостериорной вероятности классификации (Халафян, 2007).

Таблица 4

Примеры статистик для наблюдений из экзаменационных выборок
при их классификации с помощью модуля GDA ($n = 40$)

Номер наблюдения (пчела)	Квадраты расстояний Махаланобиса		Апостериорные вероятности классификации	
	<i>A. m. carnica</i>	<i>A. m. caucasica</i>	<i>A. m. carnica</i>	<i>A. m. caucasica</i>
481	3.52	12.05	0.986	0.014
482	3.24	13.32	0.994	0.006
483	3.33	8.98	0.944	0.056
484	5.54	12.82	0.974	0.026
485	4.13	16.91	0.998	0.002
486	5.42	15.45	0.993	0.007
487	2.46	9.41	0.970	0.030
520	9.47	5.28	0.110	0.890

В табл. 5 представлены результаты сравнения классификации наблюдений обучающих и экзаменационных выборок, полученных с помощью модуля GDA и уравнений функции классификации.

Таблица 5

Количество верно классифицированных объектов в обучающих
(с помощью модуля GDA) и экзаменационных (с помощью модуля GDA
и уравнений функции классификации) выборках

Породы	Количество правильных классификаций, %		
	Обучающая выборка	Экзаменационная выборка	
	Модуль GDA	Модуль GDA	Уравнение функции классификации
<i>A. m. carnica</i> Pollm.	91	95	90
<i>A. m. caucasica</i> Gorb.	86	90	90

Из табл. 5 видно, что количество верно классифицированных объектов в случае применения модуля GDA и уравнений функций классификации практически одинаково. Это позволяет заключить, что полученные уравнения функций классификации могут быть использованы в качестве инструмента для анализа породной принадлежности рабочих особей медоносных пчёл. Очевидно, что условием применимости этих уравнений является априорная принадлежность классифицируемых объектов (пчел) к одной из двух исследованных пород (*A. m. carnica* и *A. m. caucasica*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение внутривидовых межсемейных и межвидовых различий медоносных пчёл, относящихся к породам *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, позволило выявить статистически значимую ($p < 0.05$) межсемейную внутривидовую дискриминацию по шести экстерьерным признакам. Установленные факты согласуются с мнением Ф. Руттнера (2006, с. 134), указывающего, что «...пчелы даже унифицированной семьи имеют большие отклонения в величине кубитального индекса. Самый высокий индекс пчел *A. m. mellifera* и самый низкий – пчёл *A. m. carnica* пересекаются». Для каждой породы были получены уравнения функции классификации, способные на основе совокупности анализируемых признаков экстерьера идентифицировать породу. Следует отметить, что большой внутривидовый межсемейный разброс значений метрических признаков медоносной пчелы может затруднить их использование для апимониторинга. Одним из способов получения объективных биоиндикационных показателей у медоносной пчелы может стать новое направление в морфологии – геометрическая морфометрия, метод, широко использующий возможности современной цифровой техники, позволяющий достичь высокой точности получаемых результатов (Павлинов, Микешина, 2002; Adams, 1999; Klingenberg et al., 2002; Adams et al., 2004; Zelditch et al., 2004; Slice, 2007), но требующий дополнительных исследований.

Авторы благодарят директора ФГУ ПППХ «Майкопское» С. А. Малькову и зам. директора ГНУ «Краснополянская опытная станция пчеловодства» НИИ Пчеловодства РСХА Е. М. Любимова за представленные образцы пород медоносной пчелы *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* и содействие в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алпатов В. В. Породы медоносной пчелы. М. : Изд-во Моск. о-ва испытателей природы, 1948. 183 с.
- Билаев Ф. С., Скребнева Л. А., Латыпова В. З., Мукминов М. Н., Бадрутдинов О. Р. Апимониторинг в системе контроля загрязнения окружающей среды / под ред. Б. И. Колупаева. Казань : Казан. гос. ун-т, 2010. 264 с.
- Брагазин А. А., Радаев А. А., Нижегородцев А. А., Гелашвили Д. Б. Статистический анализ экстерьерных признаков рабочих особей пород медоносной пчелы *Apis mellifera carnica* Pollmann и *Apis mellifera caucasica* Gorbachev // Вестн. Нижегород. ун-та. 2012. № 2 (3). С. 119 – 122.
- Клекка У. Р. Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ. М. : Финансы и статистика, 1989. С. 78 – 138.
- Конусова О. Л., Погорелов Ю. Л., Островерхова Н. В., Рассейкина С. А., Нечипуренко А. О., Воротов А. А., Климова Е. А., Прокопьев А. С. Биологическая и хозяйственная оценка семей медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.) в некоторых районах Томской области // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2010. № 1 (9). С. 29 – 41.
- Кривцов Н. И., Сокольский С. С., Любимов Е. М. Серые горные кавказские пчелы. Изд. второе, перераб. и доп. Сочи : Изд-во Россельхозакадемии, 2009. 192 с.
- Ломаев Г. В., Бондарева Н. В. Концепция экологического мониторинга // Пчеловодство. 2007. № 3. С. 10 – 12.
- Николаенко В. П. Племенная работа с пчелами. Ростов н/Д : Изд-во «БАРО-ПРЕСС», 2005. 144 с.

ОЦЕНКА ВНУТРИ- И МЕЖПОРОДНЫХ РАЗЛИЧИЙ

Павлинов И. Я., Микешина Н. Г. Принципы и методы геометрической морфометрии // Журн. общ. биологии. 2002. Т. 63, № 6. С. 473 – 493.

Радаев А. А. Биоэкологические закономерности стабильности развития пчелы медоносной *Apis mellifera* L. и их применение в биомониторинге : дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2001. 107 с.

Руттнер Ф. Техника разведения и селекционный отбор пчел : практическое руководство по выводу пчеломаток и организации отбора и подбора на случайных пунктах / пер. с нем. ; 7-е изд., перераб. М. : АСТ Астрель, 2006. 166 с.

Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М. : Бином-Пресс, 2007. 512 с.

Adams D. C. Methods for shape analysis of landmark data from articulated structures // *Evol. Ecol. Res.* 1999. Vol. 1. P. 959 – 970.

Adams D. C., Rohlf F. J., Slice D. E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the «revolution» // *Ital. J. Zool.* 2004. Vol. 71. P. 5 – 16.

Bogdanov S. Contaminants of bee products // *Apidology*. 2006. Vol. 37. P. 1 – 18.

Celli G., Maccagnani B. Honey bees as bioindicators of environmental pollution // *Bul. of Insectology*. 2003. Vol. 56, № 1. P. 137 – 139.

Johnson R. M., Ellis M. D., Mullin C. A., Frazier M. Pesticides and honey bee toxicity – USA // *Apidology*. 2010. Vol. 41. P. 312 – 331.

Klingenberg C. P., Barluenga M., Meyer A. Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry // *Evolution*. 2002. Vol. 56, № 10. P. 1909 – 1920.

Lazor P., Tomáš J., Tóth T., Tóth J., Čéryová S. Monitoring of air pollution and atmospheric deposition of heavy metals by analysis of honey // *J. Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2012. Vol. 1, № 4. P. 522 – 533.

Ponikvar M., Šnajder J., Sedej B. Honey as a bioindicator for environmental pollution with SO₂ // *Apidology*. 2005. Vol. 36. P. 403 – 409.

Slice D. E. Geometric Morphometrics // *Annu. Rev. Anthropol.* 2007. Vol. 36. P. 261 – 281.

StatSoft : электронный учебник по статистике / StatSoft Russia. М., 2012. URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 28.05.2012).

Zelditch M. L., Swiderski D. L., Sheets H. D., Fink W. L. Geometric morphometrics for biologists: a primer. San Diego : ELSEVIER Acad. Press, 2004. 444 p.