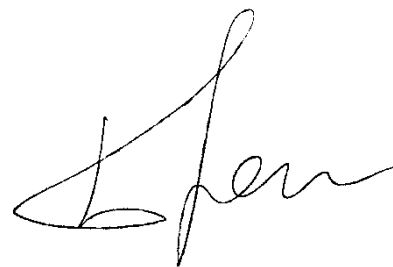


*На правах рукописи*



**БРАГАЗИН  
АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ  
ПОРОД МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ *Apis mellifera* L.  
В ПРОЦЕДУРЕ БИОМОНИТОРИНГА**

**03.02.08 — экология (биология)**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Нижний Новгород  
2014**

Работа выполнена на кафедре экологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Национальный исследовательский университет

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой экологии  
Нижегородского государственного университета  
им. Н.И. Лобачевского  
**Гелашвили Давид Бежанович**

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук,  
профессор кафедры биологии  
Марийского государственного университета  
**Глотов Николай Васильевич**

доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой биологии, химии и биолого-  
химического образования Нижегородского  
государственного педагогического университета  
им. Козьмы Минина  
**Дмитриев Александр Иванович**

**Ведущая организация:** Институт экологии Волжского бассейна РАН  
(г. Тольятти)

Защита диссертации состоится «**24**» **сентября 2014 г.** в **13:00** часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.12 при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, биологический факультет.

E-mail: [dis212.166.12@gmail.com](mailto:dis212.166.12@gmail.com)

факс: (831) 462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ННГУ по адресу: [diss.unn.ru/384](http://diss.unn.ru/384), с авторефератом – в сети Интернет на сайте ВАК России по адресу: <http://vak2.ed.gov.ru/catalogue>.

Автореферат разослан «\_\_\_» августа 2014 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



М.С. Снегирева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Вид пчела медоносная *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, наряду с другими общественными и одиночными пчёлами, занимает особое место в био- и агроценозах, обеспечивая существование многих видов цветковых растений в естественных экосистемах (Фегри, ван дер Пейл, 1982). В настоящее время *A. mellifera* играет важнейшую роль в опылении 80% энтомофильных сельскохозяйственных культур (Пономарев, 2013), которые занимают более половины обрабатываемых площадей сельскохозяйственных угодий и дают около 1/3 продуктов растениеводства (Радченко, Песенко, 1994). Тесная связь с основной наземных экосистем — растениями — и высокая мобильность в пределах зоны обитания обусловила интерес к этому насекомому как биоиндикатору (Савинов, Ушаков, 1995). Значение медоносных пчёл для биомониторинга определяется их способностью накапливать в своих телах и продуктах пчеловодства различные загрязнители окружающей среды, в первую очередь, тяжёлые металлы (Еськов и др., 2007, 2008). Вследствие этого в целях биомониторинга медоносные пчёлы изначально стали использоваться для анализа содержания поллютантов. В отечественной литературе это направление получило название «апимониторинг» (Ломаев, Бондарева, 2003, 2007; Билалов и др., 2010). Вопросы накопления различных поллютантов в продуктах пчеловодства и тканях самих пчёл не остались без внимания и за рубежом, где было проведено много исследований на эту тему (Celli, Maccagnani, 2003; Ponikvar, Šnajder, Sedej, 2005; Bogdanov, 2006; Johnson et al., 2010; Lazor et al., 2012). Однако физико-химические методы биомониторинга довольно трудоёмки и дорогостоящи, хотя и являются достаточно показательными с точки зрения выявления уровня загрязнения окружающей среды. По этим причинам самым доступным и распространённым методом биомониторинга пока остаётся анализ изменений морфометрических признаков биоиндикаторов под воздействием факторов окружающей среды (Безель, Жуйкова, 2009; Кокорина, Татаринцев, 2010; Трубянов, Глотов, 2010). В этом направлении широко применяются методы определения флуктуирующей асимметрии (ФА) у видов-биоиндикаторов (Захаров и др., 2000). Методы ФА были апробированы и на медоносной пчеле *A. mellifera* (Smith, Crespi, Bookstein, 1997; Радаев, Гелашвили, 2000; Радаев, 2001). Однако вопрос использования стандартных экстерьерных признаков в целях биомониторинга остаётся открытым. Исследования в этом направлении связаны с определёнными трудностями, обусловленными тем, что на территории России вследствие отсутствия государственного контроля за разведением пород медоносной пчелы широко распространена гибридизация между коренной породой средних и северных широт Европейской части России среднерусской породой — *Apis mellifera mellifera* Linnaeus, 1758 — и интродуцированными медоносными пчёлами «южных» пород: в основном, краинской *Apis mellifera carnica* Pollmann, 1879 и серой горной кавказской *Apis mellifera caucasica* Gorbachev, 1916 (Кривцов, 2003, Черевко, 2005, Кривцов, 2011). По указанным причинам на многих пасеках не только европейской части России, но и Сибири сформировался контингент так называемых «помесных медоносных пчёл», представляющих собой межпородные гибриды. Поскольку на территории России они достаточно многочисленны и повсеместно распространены, то в вопросах проведения биомониторинга с применением *A. mellifera* невозможно обойти стороной их использование. Актуальность настоящей работы связана с необходимостью оценки биоиндикационной значимости экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл» для целей биомониторинга.

**Цель работы:** обоснование методами одномерной и многомерной статистики применимости 6 стандартных экстерьерных признаков разных пород медоносной пчелы *A. mellifera* для оценки воздействия степени антропогенной нагрузки на окружающую среду в процедуре биомониторинга.

**Задачи исследования:**

1. Провести диагностику и оценку межпородных различий по 6 стандартным экстерьерным признакам рабочих особей пород *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera*.

2. Провести оценку межсемейных различий рабочих особей чистых пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* по 6 стандартным экстерьерным признакам, оценить внутрисемейную изменчивость экстерьерных признаков.

3. Провести морфологическую диагностику «помесных медоносных пчёл» Нижегородской области по 6 стандартным экстерьерным признакам.

4. Провести оценку воздействия степени антропогенной нагрузки на значения 6 стандартных экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл».

**Научная новизна работы.** Впервые методами одномерной и многомерной статистики оценены межсемейные различия рабочих особей медоносной пчелы пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* по 6 стандартным экстерьерным признакам. Выявлены признаки, вносящие наибольший вклад в межсемейные различия («длина правого переднего крыла» и «ширина правого переднего крыла») и наименьший («ширина 3 тергита»). Впервые получены и верифицированы уравнения функций классификации для определения породной принадлежности медоносных пчёл. Впервые проведена оценка влияния степени антропогенной нагрузки на значения экстерьерных признаков рабочих особей «помесных медоносных пчёл», для чего, в частности, был применён подход с использованием «изоморфных групп»<sup>1</sup>. Установлено, что у пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* наименьшей внутрисемейной изменчивостью обладает признак «ширина 3-го тергита».

**Научно-практическая значимость работы.** В работе рассмотрена специфика использования экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл» в целях биомониторинга и предложен подход с применением «изоморфных групп», что ввиду повсеместной распространённости проблемы гибридизации медоносных пчёл открывает перспективу для дальнейших исследований и практического использования результатов при проведении биомониторинга с применением пчелы медоносной *A. mellifera*. Методика использования классификационных возможностей дискриминантного анализа для определения породной принадлежности рабочих особей медоносных пчёл по 6 стандартным экстерьерным признакам была апробирована в 14 пчеловодческих хозяйствах Нижегородской области.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Наиболее сильными дискриминаторами семей, общими для пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, являются признаки «длина правого переднего крыла» и «ширина правого переднего крыла», а наиболее слабым «ширина 3 тергита».

2. Наименьшей внутрисемейной изменчивостью из числа исследованных экстерьерных признаков чистых пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* обладает признак «ширина 3 тергита».

3. В среднем «помесные медоносные пчёлы» пасек Нижегородской области характеризуются высокой морфологической разнородностью, при которой соотношение

---

<sup>1</sup> Группа, сформированная на каждой отдельно взятой пасеке из рабочих особей пчёл, по совокупности экстерьерных признаков отнесённых к одной породе.

экстерьерных признаков пород *A. m. mellifera* : *A. m. caucasica* : *A. m. carnica* у рабочих особей составляет 1 : 1.3 : 1.6 и статистически значимо не отличается от теоретического распределения ( $\chi^2=3.82$ ,  $p=0.148$ ).

4. У рабочих особей «помесных медоносных пчёл» «ширина правого переднего крыла» и «длина правого переднего крыла» имеют статистически значимую тенденцию к изменению своих значений под влиянием степени антропогенной нагрузки.

**Апробация работы и публикации.** Материалы диссертационного исследования были доложены на научно-практических конференциях: «Животные: экология, биология и охрана (Всероссийская научная конференция с международным участием, Саранск, 2012); «Инновационный потенциал молодежной науки» (Всероссийская научная конференция, Уфа, 2013); «Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий» (III Международная научная конференция, Нижний Новгород, 2014); на заседаниях Общества пчеловодов Нижегородской области (22.01.2012 г.; 24.11.2013 г.) и Общественной палаты Нижегородской области (22.11.2013 г.). По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 3 — в журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов и списка цитированной литературы. Диссертация иллюстрирована 7 рисунками и 31 таблицей. Основной текст изложен на 115 страницах. Библиографический указатель включает 130 источников литературы (92 отечественных и 38 иностранных).

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследования, сборе материала на племенных пчелоразведенческих хозяйствах России и пасеках Нижегородской области, проведении камеральной и статистической обработки, а также обсуждении и теоретическом осмыслении полученных результатов.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю д.б.н., проф. Д.Б. Гелашвили за доброту, терпение и понимание, мудрые советы и наставления. Автор особо признателен директору ФГУП ППХ «Майкопское» к.сх.н. С.А. Мальковой и директору ГНУ «Краснополянская опытная станция пчеловодства» НИИ Пчеловодства РАСХН Е.М. Любимову за предоставленные образцы чистопородных пчёл. Автор благодарит весь коллектив кафедры экологии биологического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского за советы и помощь в обсуждении результатов. Особую благодарность автор выражает к.б.н. А.А. Радаеву, сыгравшему немаловажную роль в судьбе автора и становлении данной работы. Автор признателен к.б.н. А.А. Нижегородцеву за помощь в организации поездок на пасеки для сбора материала и советы по статистической обработке данных. Автор благодарит своих родителей и близких людей за помощь и поддержку, оказанную при выполнении настоящей работы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе на основе данных отечественной и зарубежной литературы приведены сведения о значении и роли общественных насекомых, в частности, пчелы медоносной *A. mellifera*, в наземных экосистемах; изложены материалы по свойственной общественным насекомым особой форме изменчивости; описаны биологические особенности *A. mellifera*, современное состояние и проблемы дальнейшего существования, а также аспекты применения *A. mellifera* в биомониторинге.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для настоящих исследований послужили рабочие особи медоносной пчелы чистых пород (краинская — *Apis mellifera carnica* Pollmann, 1879; серая горная кавказская — *Apis mellifera caucasica* Gorbachev, 1916; среднерусская (тёмная европейская) — *Apis mellifera mellifera* Linnaeus, 1758) и рабочие особи «помесных медоносных пчёл» Нижегородской области.

1. Пчёлы породы *A. m. carnica* были собраны в сентябре 2011 г. на племенных пасеках, принадлежащих ФГУП Племенное пчелоразведенческое хозяйство «Майкопское». Пчёлы породы *A. m. caucasica* были получены в сентябре 2011 г. на пасеках ГНУ «Краснополянская опытная станция пчеловодства» НИИ Пчеловодства РАСХН. Пчёлы породы *A. m. mellifera* были получены в сентябре 2011 г. из бурзянской популяции среднерусской медоносной пчелы в заповеднике «Шульган-Таш» Республики Башкортостан.

2. Рабочие особи «помесных медоносных пчёл» Нижегородской области были собраны в период с июля по август 2012 г. на 14 пасеках в 12 административных районах: Богородского, Большемурашкинского, Борского, Воротынского, Городецкого, Дальнеконстантиновского, Дивеевского, Кстовского, Семёновского, Сосновского, Шатковского, Уренского. В большинстве случаев каждый район был представлен одной пасекой.

### 2.2. ОБЪЁМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Породы *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* были представлены 8 выборками (30 пчёл) каждая. Одна выборка представляла одну семью. Суммарный объём выборок, представлявших указанные породы, насчитывал 240 пчёл. В выборку породы *A. m. carnica* входили пчелы из семей №№ 1 – 8, в выборку породы *A. m. caucasica* – из семей №№ 9 – 16. Порода *A. m. mellifera* была представлена 114 особями из одной семьи. Общее число всех проанализированных чистопородных пчёл составило 594 особи.

Пасеки Нижегородской области были представлены 4-мя выборками пчёл, каждая из которых по аналогии с чистыми породами соответствовала одной семье (30 пчёл). Таким образом, с каждой пасеки было проанализировано по 120 рабочих пчёл. Исключение составляют пасеки Городецкого и Уренского районов, где число полученных рабочих особей составляло 82 и 85, соответственно (табл. 1). Общее число рабочих особей «помесных медоносных пчёл», собранных в Нижегородской области, со всех пасек составило 1607. Расположение пасек на территории Нижегородской области, на которых производился отбор пчёл, представлено на рисунке 1.

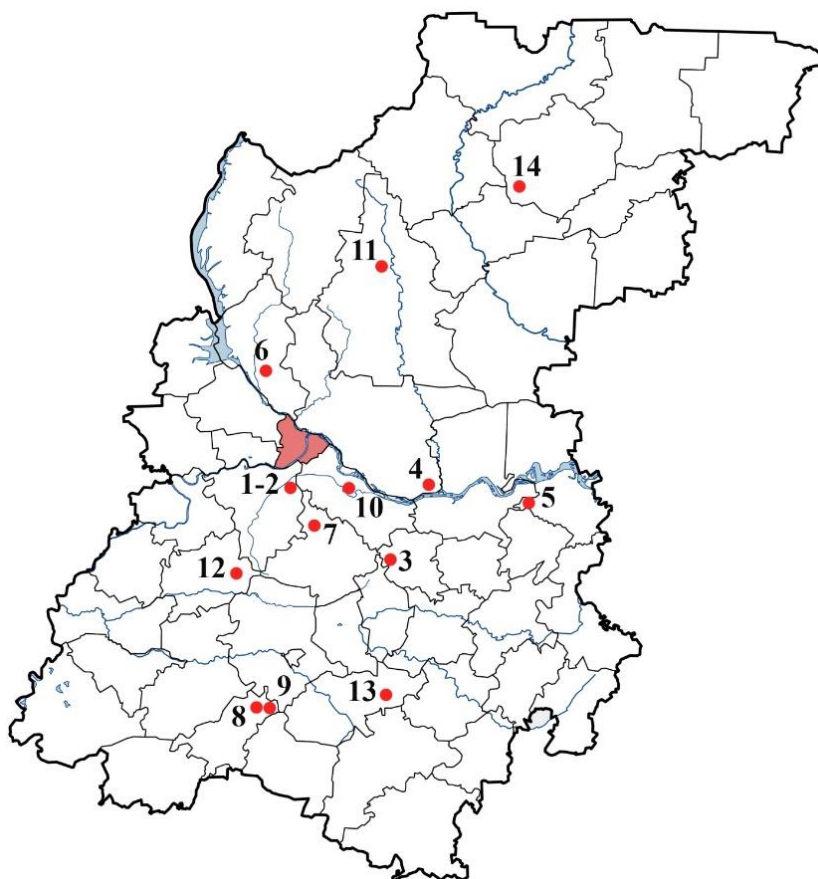


Рис. 1. Расположение пасек Нижегородской области, на которых производился отбор пчёл (нумерация дана в соответствии с табл. 1)

Таблица 1

Расположение пасек Нижегородской области и количество отобранных на них рабочих особей медоносной пчелы

| Расположение пасеки                                |                        |                  | Число рабочих особей |
|----------------------------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|
| Номер                                              | Район                  | Населённый пункт |                      |
| 1                                                  | Богородский            | д. Букино        | 120                  |
| 2                                                  | Богородский            | д. Букино        | 120                  |
| 3                                                  | Большемурашкинский     | д. Никиткино     | 120                  |
| 4                                                  | Борский                | с. Ивановское    | 120                  |
| 5                                                  | Воротынский            | д. Ольгино       | 120                  |
| 6                                                  | Городецкий             | д. Содомово      | 82                   |
| 7                                                  | Дальнеконстантиновский | д. Мирша         | 120                  |
| 8                                                  | Дивеевский             | с. Верякуши      | 120                  |
| 9                                                  | Дивеевский             | с. Ичалово       | 120                  |
| 10                                                 | Кстовский              | д. Ветчак        | 120                  |
| 11                                                 | Семёновский            | д. Токарёво      | 120                  |
| 12                                                 | Сосновский             | д. Бочиха        | 120                  |
| 13                                                 | Шатковский             | с. Великий Враг  | 120                  |
| 14                                                 | Уренский               | д. Минеево       | 85                   |
| Общее количество рабочих особей пчёл со всех пасек |                        |                  | 1607                 |

### 2.3. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАБОЧИХ ОСОБЕЙ ПЧЕЛЫ МЕДОНОСНОЙ

Оценку морфологии рабочих особей медоносных пчёл производили по общепринятой методике (Алпатов, 1948; Методы..., 2006<sup>2</sup>), в ходе которой измерялись 6 стандартных экстерьерных признаков: ширина 3 тергита (ШЗТ) — расстояние между выступами 3 тергита; длина 3 тергита (ДЗТ), длина правого переднего крыла (ДППК), ширина правого переднего крыла (ШППК), кубитальный индекс (Ci), дискоидальное смещение [положительное дискоидальное смещение (ПДС), нейтральное дискоидальное смещение (НДС), отрицательное дискоидальное смещение (ОДС)] (рис. 2, 3).

Отобранных на пасеках пчёл фиксировали в 96%-ном этаноле. Камеральную обработку производили в лаборатории, где пчёл препарировали, отделяя у них правые передние крылья и 3-и тергиты. Отпрепарированные части располагали между двумя предметными стёклами и проводили измерения с помощью стереоскопического микроскопа МБС-9, при этом пользовались окуляром 8× с диоптрийной наводкой со сменной шкалой. Экстерьерные признаки полученных рабочих особей чистопородных пчёл сравнивали с общепринятыми стандартами пород (Шафиков, Баймуратов, 2002; Николаенко, 2005; Кривцов и др., 2009, Конусова и др., 2010; Кривцов, 2011). Для средних значений экстерьерных признаков рассчитывались 95% доверительные интервалы.

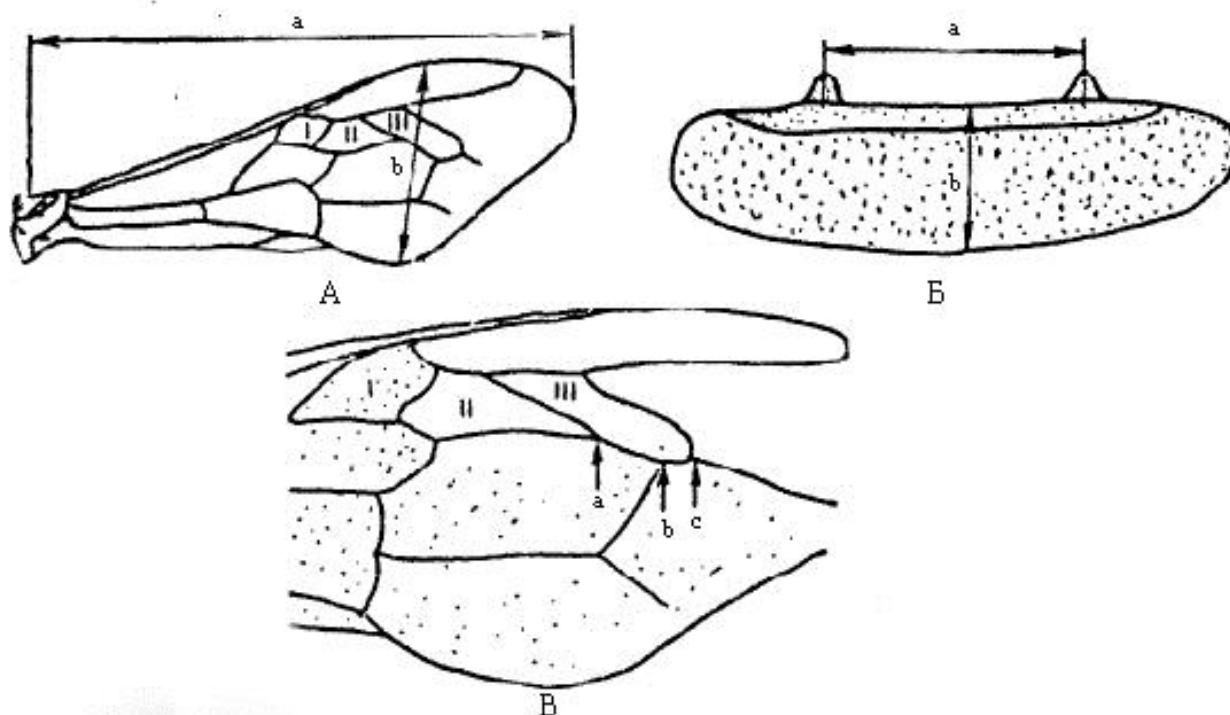


Рис. 2. Экстерьерные признаки рабочих особей медоносной пчелы: А — промеры правого переднего крыла: а — длина, b — ширина; Б — промеры 3 тергита: а — ширина, b — длина; В — переднее правое крыло с тремя кубитальными ячейками I, II, III (кубитальный индекс рассчитывается как соотношение отрезков третьей кубитальной ячейки:  $bc/ab \times 100\%$ )

<sup>2</sup> Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве / Под ред. Я.Л. Шагуна. — Рыбное: НИИП, 2006. — 154 с.



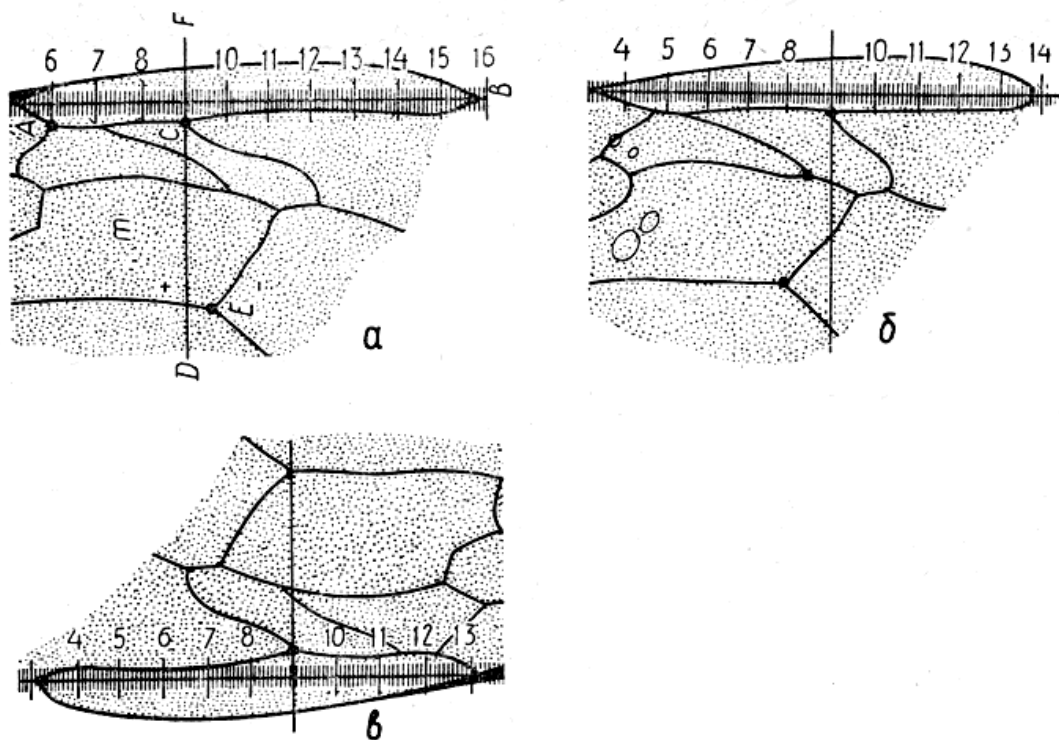


Рис. 3. Оценка дискоидального смещения: а — положительное, б — отрицательное, в — нейтральное

#### 2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

В настоящей работе для экологического зонирования территории Нижегородской области по степени антропогенной нагрузки использовался *индекс антропогенной нагрузки*  $J_{ан}$  (Гелашвили и др., 2003), который рассчитывался для каждого административного района области. Для его вычисления был использован набор из 11 эколого-экономических базовых показателей государственной статистической отчетности и 3 производных показателей (табл. 2). Экологическое зонирование было проведено для 47 из 48 административных районов Нижегородской области, поскольку для территории Сокольского района отсутствуют материалы по оптимальной лесистости. Для вычисления показателей  $I_1 - I_7$  использовались усреднённые значения за 10 лет (2003—2013 гг.). Разбиение значений  $J_{ан}$ , полученных для различных районов, на группы с различной антропогенной нагрузкой проводилось с помощью кластерного анализа с использованием метода Уорда.

## Структура эколого-экономических показателей

| №<br>п/п               | Наименование, единица измерения                                                                  | Условные<br>обозначения |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Базовые показатели     |                                                                                                  |                         |
| 1                      | Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, тыс. т/год                                             | $I_1$                   |
| 2                      | Забор вод (поверхностных и подземных), млн. м <sup>3</sup> /год                                  | $I_2$                   |
| 3                      | Сброс загрязненных вод (неочищенных и недостаточно очищенных), млн. м <sup>3</sup> /год          | $I_3$                   |
| 4                      | Процент смывости почв, %                                                                         | $I_4$                   |
| 5                      | Качество воды источников водоснабжения по санитарно-химическим показателям, % нестандартных проб | $I_5$                   |
| 6                      | Качество воды источников водоснабжения по микробиологическим показателям, % нестандартных проб   | $I_6$                   |
| 7                      | Число выявленных несанкционированных свалок, шт.                                                 | $I_7$                   |
| 8                      | Лесопокрытые площади, тыс. га                                                                    | $I_8$                   |
| 9                      | Площадь ООПТ в районе, тыс. га                                                                   | $I_9$                   |
| 10                     | Площадь района, тыс. га                                                                          | $I_{10}$                |
| 11                     | Уровень оптимальной лесистости, %                                                                | $L_{опт}$               |
| Производные показатели |                                                                                                  |                         |
| 1                      | Уровень фактической лесистости, %                                                                | $L_{факт}$              |
| 2                      | Эмпирический коэффициент ненарушенности территории ( $L_{факт} / L_{опт}$ )                      | $\alpha$                |
| 3                      | Доля особо охраняемых природных территорий в площади района, отн. ед.                            | $\beta$                 |

## 2.5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Расчёт доверительных интервалов ( $M - tm \div M + tm$ ) для средних значений экстерьерных признаков чистых пород производился при уровне значимости  $p = 0.05$ , при этом для объединённых выборок *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* объёмом  $n=240$  использовали значение  $t$ -критерия Стьюдента, равное 1.96, а для выборки *A. m. mellifera* объёмом  $n = 114$  значение  $t$ -критерия Стьюдента, равное 1.98.

Нормальность распределения выборок значений экстерьерных признаков в выборках оценивали с помощью критериев Лиллиефорса и Шапиро — Уилка. В ходе проверки на нормальность распределения исходных значений экстерьерных признаков выяснилось, что среди выборок рабочих пчёл семей изучаемых чистых пород и «помесных медоносных пчёл» Нижегородской области нормальному распределению подчинялись значения 4 признаков:

- ширины 3-го тергита,
- кубитального индекса,
- длины правого переднего крыла,
- длины 3-го тергита.

Первые 2, в отличие от остальных, были нормально распределены в большинстве семей. Для оценки различий по нормально распределённым признакам применялся дисперсионный анализ. Для оценки различий по всем признакам применялся непараметрический аналог дисперсионного анализа — критерий Крускала — Уоллиса. Для попарных сравнений использовался  $U$ -критерий Манна — Уитни. Все статистические операции выполнялись в программе STATISTICA 10.0.

**Дискриминантный анализ.** В исследовании различий между семьями и породами по совокупности экстерьерных признаков был применён дискриминантный анализ. Ввиду того, что не все признаки отвечали критерию нормальности, был использован непараметрический вариант дискриминантного анализа, представленный в модуле GDA (Общие модели дискриминантного анализа) программы STATISTICA 10.0. Помимо того, что этот метод не требует нормальности распределения признаков, он позволяет использовать категориальные переменные, что позволило включить в дискриминантный анализ признак «дискоидальное смещение», измеренный в номинальной шкале. Непараметрический дискриминантный анализ использовался для изучения межпородных различий. Для этого из представителей чистых пород были сформированы обучающие и экзаменационные выборки. Для уменьшения доли ошибочных классификаций различия в объёмах обучающих выборок должны быть минимальны. Ввиду того, что объём выборки породы *A. m. mellifera* составлял 114 наблюдений, для формирования обучающих и экзаменационных выборок пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* были взяты объединённые выборки из 4 семей, общим объёмом 120 наблюдений каждая. Затем объединённые выборки были разделены на обучающие, которые для пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* насчитывали по 100 наблюдений, а для породы *A. m. mellifera* — 94; и на экзаменационные, объём которых для каждой из 3 пород насчитывал 20 наблюдений. Непараметрический дискриминантный анализ также использовался для определения породной принадлежности «помесных медоносных пчёл» пасек Нижегородской области по совокупности 6 экстерьерных признаков посредством учёта апостериорных вероятностей принадлежности наблюдений (рабочих особей) к классам (породам), рассчитанных на основе квадратов расстояний Махаланобиса. В рамках проведения дискриминантного анализа на чистых породах были апробированы *функции классификации*. В случае их применения наблюдение (пчела) из экзаменационной выборки относится к тому классу (породе), для которого величина функции принимает максимальное значение.

**Оценка изменчивости признаков.** В настоящей работе изучалась внутрисемейная изменчивость 2 признаков медоносной пчелы, измеренных в интервальной шкале «ширина 3 тергита» и «кубитальный индекс», т.к. их распределение в большинстве семей не отклонялось от нормального закона. Для определения изменчивости применялся *коэффициент вариации* ( $C_v$ ). Это решение было принято на том основании, что значения одного признака («кубитальный индекс») были представлены процентами, а другого («ширина 3-го тергита») — в миллиметрах, поэтому необходимо было унифицировать процедуру измерения их изменчивости. Ошибку коэффициента вариации вычисляли по формуле (Ивантер, Коросов, 2011):

$$m_{Cv} = \frac{C_v}{\sqrt{2 \cdot n}}$$

### ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ РАБОЧИХ ОСОБЕЙ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ ЧИСТЫХ ПОРОД *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera*

На первом этапе работы с чистопородными пчёлами была проведена статистическая диагностика соответствия экстерьерных признаков общепринятым для них породным стандартам. В результате анализа значений экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы, полученных от трёх пород — *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera* — не удалось выявить их однозначного соответствия породным стандартам. Результаты анализа подробно изложены в тексте диссертации. Далее нами был проведён

непараметрический дискриминантный анализ различий между указанными породами с целью установления качества дискриминации между ними.

### 3.1. МЕЖПОРОДНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ РАБОЧИХ ОСОБЕЙ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ ПОРОД *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera*

Проведённый непараметрический дискриминантный анализ показал, что представленный комплекс 6 экстерьерных признаков позволял статистически значимо дискриминировать породы, о чём свидетельствует значение  $\lambda$  Уилкса, равное 0.19 при  $F=66.29$  и  $p<0.001$ . Значения частной  $\lambda$  (табл. 3) говорят о статистически значимом единичном вкладе всех признаков в дискриминацию пород, о чём свидетельствуют уровни значимости соответствующих им  $F$ -критериев. Самый большой вклад в разделение пород вносили «кубитальный индекс», что подтверждает его первостепенную роль в породной идентификации (Алпатов, 1948; Руттнер, 2006), и «ширина 3 тергита». Последнее связано с тем, что пчёлы породы *A. m. mellifera* отличаются от южных пород, представленных в настоящей работе *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, более крупными размерами брюшного отдела (Еськов, 1995).

Таблица 3

Единичные вклады экстерьерных признаков  
в дискриминацию пород *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera*  
по результатам непараметрического дискриминантного анализа

| Признак                        | Частная<br>$\lambda$ | $F$          | $p$              |
|--------------------------------|----------------------|--------------|------------------|
| Длина 3-го тергита             | <b>0.88</b>          | <b>19.07</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина 3-го тергита            | <b>0.74</b>          | <b>50.67</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина правого переднего крыла | <b>0.98</b>          | <b>3.58</b>  | <b>0.029</b>     |
| Длина правого переднего крыла  | <b>0.91</b>          | <b>13.38</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Кубитальный индекс             | <b>0.63</b>          | <b>83.48</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Дискоидальное смещение         | <b>0.90</b>          | <b>7.69</b>  | <b>&lt;0.001</b> |

На рисунке 4 представлена диаграмма рассеяния значений дискриминантных функций с отмеченными центроидами для совокупностей рабочих особей пород медоносной пчелы *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera*. Как видно из диаграммы, несмотря на некоторое пересечение областей объектов обучающих выборок чистых пород они чётко просматриваются, а отмеченные на диаграмме центроиды соответствующих совокупностей дают более ясное представление о различиях обучающих выборок.

Проверка собственных значений 2 полученных дискриминантных функций с помощью критерия  $\chi^2$  выявила их статистическую значимость, что делает обоснованным использование дискриминантных функций для интерпретации наблюдаемых различий между классам пород (табл. 4).

Таблица 4

Оценка значимости собственных значений дискриминантных функций  
для центроидов классов пород

| Дискриминантная<br>функция | Собственное<br>значение | $\chi^2$      | $p$              |
|----------------------------|-------------------------|---------------|------------------|
| 1                          | <b>1.93</b>             | <b>472.51</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| 2                          | <b>0.76</b>             | <b>162.84</b> | <b>&lt;0.001</b> |

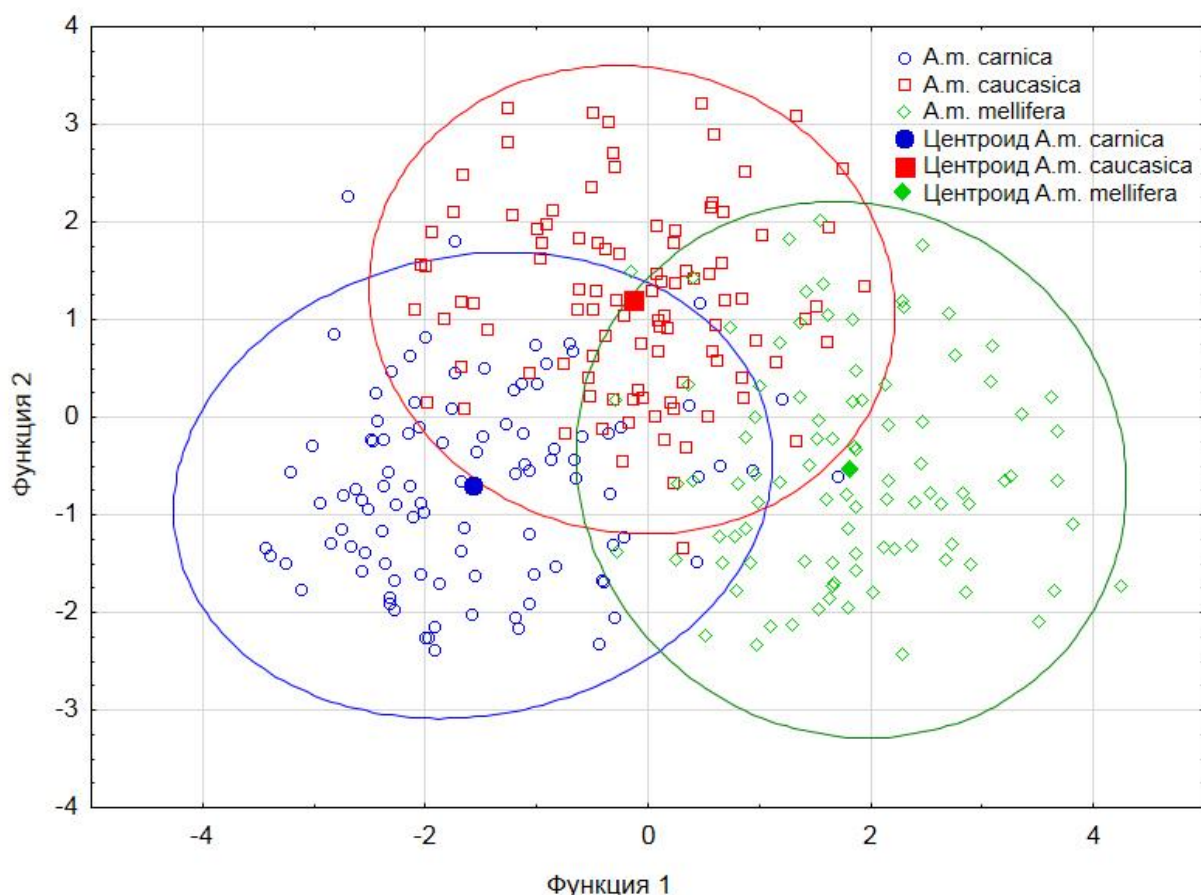


Рис. 4. Диаграмма рассеяния значений дискриминантных функций для рабочих особей пород медоносной пчелы *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera* с отмеченными центроидами совокупностей

Полученные результаты свидетельствуют, что, несмотря на имеющиеся отклонения от породных стандартов по значениям отдельных экстерьерных признаков, представленные выборки трёх пород медоносной пчелы статистически значимо дискриминируются в многомерном пространстве комплекса из 6 экстерьерных признаков.

**Уравнения функций классификации.** С помощью модуля GDA для обучающих выборок трёх представленных пород на основе значений 6 переменных (экстерьерных признаков) были получены соответствующие функции классификации ( $Y$ ), позволяющие классифицировать пчёл с неизвестной породной принадлежностью. Градация «отрицательное дискоидальное смещение» была удалена программой из моделей (1), (2) и (3) для минимизации доли ошибочной классификации. Уравнения имеют следующий вид:

$$Y_{Carnica} = -2070.51 + 295.78ДЗТ + 56.98ШЗТ + 105.51ШППК + 290.19ДППК + 1.60C_i + 1.13ПДС + 2.51НДС, \quad (1)$$

$$Y_{Caucasica} = -2040.36 + 297.89ДЗТ + 55.64ШЗТ + 100.49ШППК + 287.75ДППК + 1.85C_i - 0.41ПДС + 2.95НДС, \quad (2)$$

$$Y_{Mellifera} = -2127.39 + 318.61ДЗТ + 72.02ШЗТ + 105.97ШППК + 280.53ДППК + 1.94C_i + 0.85ПДС + 2.48НДС, \quad (3)$$

Отнесение наблюдения (т.е. пчелы) к той или иной породе производится по максимальному значению функции классификации.

Подробные описания результатов приведены в диссертационной работе.

### 3.2. ВНУТРИПОРОДНЫЕ МЕЖСЕМЕЙНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ РАБОЧИХ ОСОБЕЙ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ ПОРОД *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*

Убедившись в том, что различия значений основных экстерьерных признаков представленных выборок пород медоносных пчёл статистически значимы, мы приступили к изучению различий по экстерьерным признакам внутри пород. Для исследования внутрипородных различий и внутрисемейной изменчивости экстерьерных признаков были сформированы две выборки из рабочих пчёл, представлявших породы *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, т.к. структура имеющихся данных по этим породам идентична (равное число наблюдений,  $n = 240$  и семей,  $n = 8$ ). Выборка рабочих особей породы *A. m. mellifera* представлена особями одной семьи и не подходит для изучения внутрипородных различий.

Порода медоносной пчелы представлена семьями, образующими её внутрипородную структуру, они являются единицами изменчивости породы (Алпатов, 1948) и обладают собственными, отличными от других семей, значениями экстерьерных признаков. Ввиду этих особенностей нами была проведена оценка внутрипородных межсемейных различий по изучаемым экстерьерным признакам. Вопрос о межсемейных различиях сначала необходимо было решить по отдельным экстерьерным признакам, поэтому был проведён одномерный анализ.

**Анализ межсемейных различий с помощью критерия Крускала — Уоллиса.** О наличии межсемейных различий по каждому из 5 экстерьерных признаков внутри пород судили по значению критерия Крускала — Уоллиса (непараметрический аналог дисперсионного анализа) (табл. 5). Признак «дискоидальное смещение» в этом виде анализа не участвовал, т.к. он относится к категориальным переменным.

Таблица 5

Результаты анализа межсемейных различий по экстерьерным признакам рабочих пчёл пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* с помощью критерия Крускала — Уоллиса

| Признак                        | <i>A. m. carnica</i> |                  | <i>A. m. caucasica</i> |                  |
|--------------------------------|----------------------|------------------|------------------------|------------------|
|                                | <i>H</i>             | <i>p</i>         | <i>H</i>               | <i>p</i>         |
| Длина 3 тергита                | <b>52.20</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>28.06</b>           | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина 3 тергита               | <b>24.69</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>41.70</b>           | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина правого переднего крыла | <b>72.41</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>47.70</b>           | <b>&lt;0.001</b> |
| Длина правого переднего крыла  | <b>82.76</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>40.40</b>           | <b>&lt;0.001</b> |
| Кубитальный индекс             | <b>67.32</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>25.99</b>           | <b>&lt;0.001</b> |

Как видно из таблицы 5, семьи указанных пород статистически значимо различаются ( $p < 0.05$ ) по всем экстерьерным признакам. Полученные с помощью метода Крускала — Уоллиса результаты были проверены с помощью параметрического дисперсионного анализа, для которого были отобраны только признаки с нормальным распределением: «ширина 3 тергита» и «кубитальный индекс». Среди семей породы *A. m. carnica* этому требованию соответствовали 5 семей: №№ 1, 2, 5, 7, 8; среди семей породы *A. m. caucasica* — 3 семьи: №№ 5, 6, 7. Результаты представлены в таблице 6. Проведённый параметрический дисперсионный анализ подтвердил результаты критерия Крускала — Уоллиса по статистической значимости различий ( $p < 0.05$ ) между семьями обеих пород по указанным признакам. Полученные результаты свидетельствуют, что установленные статистически значимые различия по 6 экстерьерным признакам между семьями медоносной пчелы обеих пород (подвидов) инвариантны для вида в целом. Выраженность статистически значимых различий между семьями подтверждает тезис В.В. Алпатова (1948) о том, что семья медоносной пчелы является единицей изменчивости породы.

Таблица 6

Результаты одномерного дисперсионного анализа межсемежных различий по двум экстерьерным признакам рабочих особей пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*

| Признак            | <i>A. m. carnica</i> |                  | <i>A. m. caucasica</i> |                  |
|--------------------|----------------------|------------------|------------------------|------------------|
|                    | <i>F</i>             | <i>p</i>         | <i>F</i>               | <i>p</i>         |
| Ширина 3 тергита   | <b>3.6</b>           | <b>0.008</b>     | <b>9.27</b>            | <b>&lt;0.001</b> |
| Кубитальный индекс | <b>17.39</b>         | <b>&lt;0.001</b> | <b>9.03</b>            | <b>&lt;0.001</b> |

**Непараметрический дискриминантный анализ межсемежных различий.** Анализ межсемежных различий был продолжен с помощью дискриминантного анализа, в ходе которого необходимо было ответить на вопрос, каковы будут различия между семьями, если их оценивать не по отдельным признакам, а по всему их комплексу. Полученные результаты свидетельствовали о том, что комплекс из 6 экстерьерных признаков статистически значимо дискриминировал семьи в обеих породах. Об этом говорят небольшие значения  $\lambda$  Уилкса, сопровождающиеся статистически значимыми *F*-критериями. Так, при оценке межсемежных различий породы *A. m. carnica*  $\lambda$  Уилкса составила 0.16 при *F* = 14.82, *p* < 0.001; а для породы *A. m. caucasica* — 0.34 при *F* = 5.91, *p* < 0.001.

Анализ единичных вкладов экстерьерных признаков рабочих пчёл в дискриминацию семей породы *A. m. carnica* посредством оценки значений частной  $\lambda$  показал, что между семьями наблюдалась статистически значимая дискриминация по всем экстерьерным признакам (табл. 7). Самый существенный вклад в дискриминацию семей вносили признаки «длина правого переднего крыла» и «ширина правого переднего крыла», при этом наибольшей разделительной силой между семьями обладал признак «длина правого переднего крыла», т.к. ему соответствовало наименьшее значение частной  $\lambda$ .

В отличие от *A. m. carnica*, для семей породы *A. m. caucasica* наибольшей дискриминирующей силой обладал признак «дискоидальное смещение» (табл. 7). Признак «ширина правого переднего крыла» занимал второе место по значимости в дискриминации семей этой породы.

Таблица 7

Единичные вклады экстерьерных признаков в дискриминацию семей пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* по результатам непараметрического дискриминантного анализа

| Признак                        | <i>A. m. carnica</i> |              |                  | <i>A. m. caucasica</i> |             |                  |
|--------------------------------|----------------------|--------------|------------------|------------------------|-------------|------------------|
|                                | Частная $\lambda$    | <i>F</i>     | <i>p</i>         | Частная $\lambda$      | <i>F</i>    | <i>p</i>         |
| Длина 3 тергита                | <b>0.73</b>          | <b>11.81</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>0.90</b>            | <b>3.62</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина 3 тергита               | <b>0.84</b>          | <b>6.11</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>0.86</b>            | <b>5.08</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Ширина правого переднего крыла | <b>0.60</b>          | <b>21.28</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>0.80</b>            | <b>8.31</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Длина правого переднего крыла  | <b>0.42</b>          | <b>43.69</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>0.84</b>            | <b>6.18</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Кубитальный индекс             | <b>0.81</b>          | <b>7.51</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>0.86</b>            | <b>5.14</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Дискоидальное смещение         | <b>0.89</b>          | <b>1.97</b>  | <b>0.02</b>      | <b>0.76</b>            | <b>4.69</b> | <b>&lt;0.001</b> |

Анализ квадратов расстояний Махаланобиса между центроидами классов наблюдений, образованных семьями породы *A. m. carnica*, показал, что статистически незначимые расстояния (*p* > 0.05) наблюдались между центроидами классов семей в следующих парах: №№ 1 и 2; 1 и 6; 4 и 3. Это позволяет заключить, что для указанных 5 семей в пространстве 6 экстерьерных признаков имеет место сильное перекрытие значений признаков, что приводит к слабой дискриминации этих семей, причём в наименьшей степени отличалась от остальных семья 6. Аналогичная ситуация была выявлена и для семей породы *A. m. caucasica*. Статистически значимых различий по

квадратам расстояний Махаланобиса не было обнаружено между центроидами классов 4 из 8 семей: 10 и 9, 14 и 16 ( $p > 0.05$ ).

С помощью стандартизованных  $\beta$  – коэффициентов был оценён единичный вклад переменных (признаков) в различия каждой из семей представленных пород. Так, более половины семей породы *A. m. carnica* имели статистически значимые различия ( $p < 0.05$ ) по признакам «длина правого переднего крыла» (7 семей) и «длина 3 тергита» (6 семей). Для породы *A. m. caucasica* ключевыми признаками, по которым, по крайней мере, половина семей имела статистически значимые различия, были «ширина правого переднего крыла» (5 семей) и «длина правого переднего крыла» (4 семьи). Экстерьерными признаками породы *A. m. carnica*, по которым было зафиксировано наименьшее число семей со статистически значимыми различиями, были следующими: «дискоидальное смещение» (1 семья) и «ширина 3 тергита» (2 семьи). В породе *A. m. caucasica* 3 из 8 семей имели статистически значимые различия по каждому из следующих признаков: «ширина 3 тергита», «длина 3 тергита», «кубитальный индекс», «дискоидальное смещение».

Таким образом, в результате проведения дискриминантного анализа внутривидовых межсемейных различий рабочих особей медоносной пчелы пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* выяснилось, что по комплексу из 6 экстерьерных признаков наблюдается перекрытие значений у 5 из 8 семей породы *A. m. carnica* и у 4 из 8 семей породы *A. m. caucasica*. Признак «ширина правого переднего крыла» выступал в роли самого сильного дискриминатора семей, а признак «ширина 3 тергита» — в роли самого слабого. Однако анализ  $\beta$  – коэффициентов показал, что общим для обеих пород признаком, по которому статистически значимо дискриминировалась, по крайней мере, половина семей в обеих породах, являлась «длина правого переднего крыла». Общим признаком, по которому было зафиксировано наименьшее количество статистически значимых различий между семьями, оставалась «ширина 3 тергита».

### **3.3. ВНУТРИСЕМЕЙНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ ПОРОД *A. m. carnica* и *A. m. caucasica***

Результаты, полученные в ходе оценки внутривидовых межсемейных различий значений экстерьерных признаков рабочих особей медоносных пчёл пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*, необходимо было дополнить сведениями об изменчивости экстерьерных признаков внутри семей для ответа на вопрос о пригодности экстерьерных признаков для целей биомониторинга. Для этого был использован *коэффициент вариации* ( $C_v$ , %). Однако его применение сопряжено с требованием соблюдения нормальности распределения выборочных значений признака, т.к. при росте отличий распределения признака от нормального закона коэффициент вариации увеличивается (Ивантер, Коросов, 2011). Это требование выполнялось только для двух признаков: «ширина 3 тергита» и «кубитальный индекс». Для изучения внутрисемейной изменчивости указанных признаков были отобраны семьи, в которых распределение обоих признаков отвечало нормальному закону. Из числа семей породы *A. m. carnica* таких было 5, породы *A. m. caucasica* — 3. Полученные по семьям значения коэффициента вариации указанных экстерьерных признаков были усреднены, результаты приведены в таблице 8. Значения коэффициента вариации по «ширине 3 тергита» свидетельствуют о небольшом уровне изменчивости этого признака внутри семей обеих пород, т.к. по Г.Ф. Лакину (1990) варьирование признака считается слабым, если значение коэффициента вариации не превосходит 10%. «Кубитальный индекс» в обеих породах характеризуется средней силой изменчивости, потому что рассчитанный для него коэффициент вариации попадает в диапазон значений 11-25% (Лакин, 1990).



Таблица 8

Внутрисемейная изменчивость экстерьерных признаков  
пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica*

| Признак            | Коэффициент вариации, $C_v \pm m_{C_v}$ , % |                        |
|--------------------|---------------------------------------------|------------------------|
|                    | <i>A. m. carnica</i>                        | <i>A. m. caucasica</i> |
| Ширина 3 тергита   | 2.6±0.33                                    | 2.8±0.36               |
| Кубитальный индекс | 14.5±1.89                                   | 12.5±1.63              |

#### ГЛАВА 4. ДИАГНОСТИКА ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ «ПОМЕСНЫХ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ» ПАСЕК НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Для дальнейшего изучения применимости экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы для биомониторинга необходимо было провести диагностику гетерогенности экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл» пасек Нижегородской области. Для этого использовали возможности непараметрического дискриминантного анализа (модуль GDA) программы STATISTICA 10.0 по многомерной классификации объектов. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9

Диагностика «породной» принадлежности рабочих особей «помесных медоносных пчёл»  
пасек Нижегородской области

| Пасека                             |                                   | Доля рабочих особей, отнесённых к «породе»<br><i>A. m. caucasica</i> , % | Доля рабочих особей, отнесённых к «породе»<br><i>A. m. carnica</i> , % | Доля рабочих особей, отнесённых к «породе»<br><i>A. m. mellifera</i> , % |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| №                                  | Место расположения (район)        |                                                                          |                                                                        |                                                                          |
| 1                                  | д. Букино (Богородский)           | 58                                                                       | 24                                                                     | 18                                                                       |
| 2                                  | д. Букино (Богородский)           | 44                                                                       | 28                                                                     | 28                                                                       |
| 3                                  | д. Никиткино (Большемурашкинский) | 12                                                                       | 84                                                                     | 4                                                                        |
| 4                                  | с. Ивановское (Борский)           | 3                                                                        | 94                                                                     | 3                                                                        |
| 5                                  | д. Ольгино (Воротынский)          | 60                                                                       | 18                                                                     | 22                                                                       |
| 6                                  | д. Содомово (Городецкий)          | 24                                                                       | 21                                                                     | 55                                                                       |
| 7                                  | д. Мирша (Дальнеконстантиновский) | 17                                                                       | 75                                                                     | 8                                                                        |
| 8                                  | с. Верякуши (Дивеевский)          | 46                                                                       | 22                                                                     | 32                                                                       |
| 9                                  | с. Ичалово (Дивеевский)           | 68                                                                       | 8                                                                      | 24                                                                       |
| 10                                 | д. Ветчак (Кстовский)             | 21                                                                       | 47                                                                     | 32                                                                       |
| 11                                 | д. Токарёво (Семёновский)         | 20                                                                       | 43                                                                     | 37                                                                       |
| 12                                 | д. Бочиха (Сосновский)            | 42                                                                       | 8                                                                      | 50                                                                       |
| 13                                 | с. Великий Враг (Шатковский)      | 21                                                                       | 58                                                                     | 21                                                                       |
| 14                                 | д. Минеево (Уренский)             | 36                                                                       | 25                                                                     | 39                                                                       |
| <b>Среднее значение по области</b> |                                   | <b>34</b>                                                                | <b>40</b>                                                              | <b>27</b>                                                                |

Проведённая диагностика гетерогенности экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл» пасек Нижегородской области демонстрирует высокую морфологическую разнородность пчёл, ввиду чего «породный» состав пасек характеризуется различным соотношением рабочих особей, имеющих экстерьерные признаки 3 пород. Оценка соотношения экстерьерных признаков трёх пород (*A. m. mellifera*, *A. m. caucasica*, *A. m. carnica*) у рабочих особей исследованных пасек с помощью критерия  $\chi^2$  показала статистическую значимость различий между пчёлами различных пасек ( $\chi^2 = 710.36$ ,  $p < 0.001$ ). Из числа проанализированных пасек только 3 (с. Ивановское, д. Никиткино, д. Мирша) отличались довольно однородным морфологическим составом

пчёл, которые в большинстве своём были отнесены к породе *A. m. carnica*. Медоносных пчёл пасеки с.Ивановского можно назвать чистопородными, т.к. 94 % особей относились к указанной породе. Медоносные пчёлы пасек д. Ольгино и с. Ичалово были довольно близки по своим экстерьерным признакам к породе *A. m. caucasica*, а пчёлы пасек д. Содомово и д. Бочиха — к породе *A. m. mellifera*; тем не менее значительное количество особей медоносных пчёл этих пасек было отнесено к двум другим породам. В среднем по всем исследованным пасекам Нижегородской области соотношение экстерьерных признаков пород *A. m. mellifera* : *A. m. caucasica* : *A. m. carnica* у рабочих особей «помесных медоносных пчёл» составляет 1 : 1.3 : 1.6. Однако сравнение его с теоретическим распределением 1 : 1 : 1 с помощью критерия  $\chi^2$  не показало статистически значимых различий (3.82,  $p=0.148$ ).

## **ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКСТЕРЬЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ «ПОМЕСНЫХ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ»**

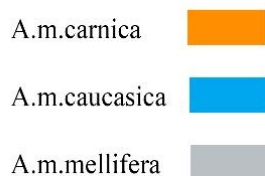
### **5.1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Экологическое зонирование территории Нижегородской области было проведено с целью выявления состояния окружающей среды в административных районах области для последующей оценки влияния уровня антропогенной нагрузки на значения экстерьерных признаков рабочих особей «помесных медоносных пчёл». Для этого по каждому административному району области рассчитывался индекс антропогенной нагрузки  $J_{ан}$  (Гелашвили, 2003). Затем был проведён кластерный анализ полученных значений индекса  $J_{ан}$ . В соответствии с результатами кластеризации все районы были разделены на 4 кластера с различной степенью антропогенной нагрузки: «А», «В», «С», «D». Каждому кластеру была дана вербальная характеристика антропогенной нагрузки и обозначены границы интервалов значений индекса антропогенной нагрузки, соответствующие каждому кластеру: «А» — «удовлетворительная» ( $J_{ан} \leq 0.31$ ); «В» — «слабая» ( $J_{ан} = 0.32 \div 0.79$ ), «С» — «умеренная» ( $J_{ан} = 0.80 \div 1.42$ ), «D» — «сильная» ( $J_{ан} \geq 1.43$ ). Согласно полученным результатам «удовлетворительной», «слабой» и «умеренной» антропогенной нагрузкой характеризуются 38 административных районов Нижегородской области из 47, что составляет 81%. Районы с «удовлетворительной» антропогенной нагрузкой были в основном из северной части Заволжья — подзоны тайги. «Сильная» антропогенная нагрузка была отмечена в центральных районах Предволжья с традиционно развитым промышленным и сельскохозяйственным производством (9 административных районов), где в значительной степени сведены лесные массивы.

### **5.2. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКСТЕРЬЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ «ПОМЕСНЫХ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ» НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Исследованные пасеки распределились по кластерам с различной антропогенной нагрузкой следующим образом. В кластер «А» с «удовлетворительной» антропогенной нагрузкой попала 1 пасека из Семёновского района. В кластер «В» со «слабой» антропогенной нагрузкой попало 6 пасек из Уренского, Воротынского, Сосновского, Борского, Городецкого и Шатковского районов. В кластер «С» с «умеренной» антропогенной нагрузкой попало 3 пасеки из Дивеевского, Большемурашкинского и Дальнеконстантиновского районов. В кластер «D» с «сильной» антропогенной нагрузкой попало 2 пасеки из Богородского и Кстовского районов (рис. 5).

Доля рабочих особей медоносных пчёл пасеки (%), отнесённых к породе:



Характеристика административных районов по степени антропогенной нагрузки

Значения  $J_{ан}$

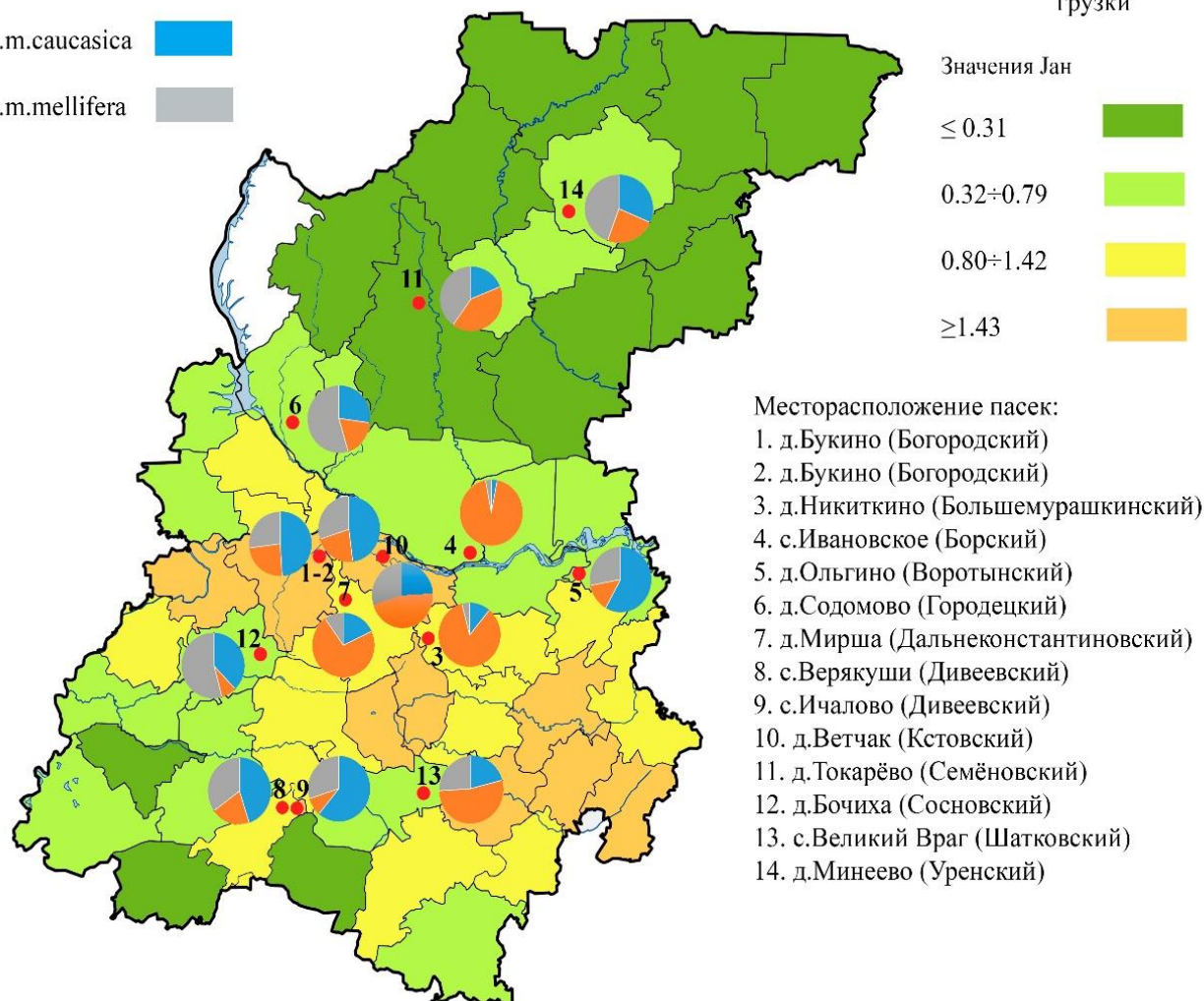


Рис. 5. Распределение исследованных пасек Нижегородской области по территориям с различной антропогенной нагрузкой

Чтобы оценить влияние степени антропогенной нагрузки на экстерьерные признаки «помесных медоносных пчёл» было произведено сравнение значений экстерьерных признаков рабочих особей пасек из районов с максимально различными значениями индекса  $J_{ан}$ , таковыми оказались пасеки из Семёновского и Кстовского районов, принадлежавшие кластерам «А» и «D» соответственно. Сравнение производили по 5 признакам с помощью  $U$ -критерия Манна — Уитни (непараметрический аналог  $t$ -критерия Стьюдента) и по 6 признакам (включая признак «дискоидальное смещение») с помощью непараметрического дискриминантного анализа. Как видно из результатов применения  $U$ -критерия Манна — Уитни, представленных в таблице 10, статистически значимые различия между рабочими особями «помесных пчёл» пасек Семёновского и Кстовского районов наблюдались по двум признакам: «длина 3 тергита» и «ширина правого переднего крыла».

Таблица 10

Результаты сравнения значений экстерьерных признаков рабочих особей «помесных медоносных пчёл» пасек Семёновского и Кстовского районов с помощью  $U$ -критерия Манна — Уитни

| Признак                               | $U$            | $p$              |
|---------------------------------------|----------------|------------------|
| <b>Длина 3 тергита</b>                | <b>5872.50</b> | <b>0.010*</b>    |
| Ширина 3 тергита                      | 7054.50        | 0.786            |
| <b>Ширина правого переднего крыла</b> | <b>5305.00</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Длина правого переднего крыла         | 6652.00        | 0.301            |
| Кубитальный индекс                    | 6719.00        | 0.371            |

\* — жирным выделены статистически значимые различия

Применение непараметрического дискриминантного анализа позволило оценить дискриминацию исследованных пасек по комплексу признаков.  $\Delta$  Уилкса была достаточно велика — 0.79, но статистически значима:  $F = 12.51$ ,  $p < 0.001$ . Это говорит о том, что различия между пасеками по всему комплексу экстерьерных признаков были слабы, но, тем не менее, статистически значимы. Затем с помощью частной  $\lambda$  были оценены единичные вклады экстерьерных признаков в дискриминацию наблюдений рассматриваемых пасек, результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11

Единичные вклады экстерьерных признаков в различия рабочих особей «помесных медоносных пчёл» пасек Семёновского и Кстовского районов по результатам непараметрического дискриминантного анализа

| Признаки                              | Частная $\lambda$ | $F$          | $p$               |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| <b>Длина 3 тергита</b>                | <b>0.94</b>       | <b>15.04</b> | <b>&lt;0.001*</b> |
| Ширина 3 тергита                      | 0.99              | 2.10         | 0.149             |
| <b>Ширина правого переднего крыла</b> | <b>0.83</b>       | <b>49.18</b> | <b>&lt;0.001</b>  |
| <b>Длина правого переднего крыла</b>  | <b>0.87</b>       | <b>34.24</b> | <b>&lt;0.001</b>  |
| Кубитальный индекс                    | 0.99              | 0.06         | 0.801             |
| Дискоидальное смещение                | 0.99              | 0.99         | 0.372             |

\* — жирным выделены статистические критерии для признаков, которые вносят статистически значимый вклад в дискриминацию рабочих пчёл указанных пасек

Из таблицы 11 видно, что статистически значимыми оказались единичные вклады 3 признаков: «длина 3 тергита», «ширина правого переднего крыла», «длина правого переднего крыла». Таким образом, непараметрический дискриминантный анализ выявил статистически значимые различия по тем же признакам, что и  $U$ -критерий Манна — Уитни, при этом обнаружив их ещё по одному признаку — «длина правого переднего крыла».

Относительное морфологическое сходство рабочих особей изученных пасек (табл. 9) даёт возможность предположить, что выявленные между «помесными медоносными пчёлами» статистически значимые различия по 3 экстерьерным признакам: «длина 3 тергита», «ширина правого переднего крыла», «длина правого переднего крыла» — являются следствием различий в уровнях антропогенной нагрузки, наблюдаемых в рассматриваемых районах. Однако, учитывая морфологическую разнородность пчёл исследованных пасек, далее мы проверили полученные результаты на отдельных группах особей, отнесённых посредством многомерной классификации по совокупности экстерьерных признаков к одной породе и отличающихся большей морфологической однородностью. Этим группам пчёл было дано условное название «изоморфные группы».

### 5.3. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКСТЕРЬЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ «ИЗОМОРФНЫХ ГРУПП»

На основе рабочих особей 4 семей «помесных медоносных пчёл» каждой из пасек, контрастных по степени антропогенной нагрузки, Семёновского («удовлетворительная», кластер А) и Кстовского («сильная», кластер D) районов было сформировано по 3 «изоморфных группы», соответствующих 3 породам: *A. m. caucasica*, *A. m. carnica* и *A. m. mellifera*. В каждую «изоморфную группу» пасеки входило столько наблюдений, сколько их было отнесено к соответствующей породе при многомерной классификации (табл. 9). Затем было произведено сравнение значений экстерьерных признаков рабочих пчёл указанных пасек по каждой «изоморфной группе» отдельно с помощью *U*-критерия Манна — Уитни.

**Анализ влияния степени антропогенной нагрузки на экстерьерные признаки рабочих особей пчёл «изоморфной группы» *A. m. caucasica*.** В результате сравнения экстерьерных признаков пчёл «изоморфной группы» *A. m. caucasica* пасек Семёновского и Кстовского районов выяснилось, что статистически значимые различия наблюдались по признакам «ширина 3 тергита» ( $U = 192.50, p = 0.010$ ) и «ширина правого переднего крыла» ( $U = 182.50, p = 0.006$ ).

**Анализ влияния степени антропогенной нагрузки на экстерьерные признаки рабочих особей пчёл «изоморфной группы» *A. m. carnica*.** Между пчёлами пасек Семёновского и Кстовского районов «изоморфной группы» *A. m. carnica* статистически значимые различия наблюдались по «ширине правого переднего крыла» ( $U = 979.00, p = 0.017$ ) и «кубитальному индексу» ( $U = 968.50, p = 0.014$ ).

**Анализ влияния степени антропогенной нагрузки на экстерьерные признаки особей пчёл «изоморфной группы» *A. m. mellifera*.** Сравнение экстерьерных признаков рабочих особей «изоморфной группы» *A. m. mellifera* пасек Семёновского и Кстовского районов показало статистически значимые различия между ними только по одному признаку — «длина правого переднего крыла» ( $U = 638.50, p = 0.042$ ).

Таким образом, статистически значимые различия по признакам «ширина правого переднего крыла» и «длина правого переднего крыла» между рабочими особями «помесных медоносных пчёл» пасек Семёновского и Кстовского районов подтвердились при сравнении рассматриваемых пасек по «изоморфным группам» *A. m. caucasica*, *A. m. carnica* и *A. m. mellifera*. Подводя итог результатам, полученным нами на данном этапе исследований, в первом приближении можно констатировать, что из числа исследованных экстерьерных признаков рабочих особей «помесных медоносных пчёл» размерные параметры правого переднего крыла имеют статистически значимую тенденцию к изменению своих значений под влиянием степени антропогенной нагрузки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования экстерьерных признаков рабочих особей медоносных пчёл чистых пород *A. m. carnica*, *A. m. caucasica* и *A. m. mellifera* позволяют сделать следующие заключения. При оценке различий между особями указанных пород наиболее сильными дискриминаторами выступали признаки «ширина 3 тергита» и «кубитальный индекс». При оценке внутривидовых межсемейных различий наибольшую силу в дискриминации семей пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* проявляли признаки «длина правого переднего крыла» и «ширина правого переднего крыла», а наименьшую — «ширина 3 тергита». Среди изученных экстерьерных признаков рабочих особей пород *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* наименьшей внутрисемейной изменчивостью обладал признак «ширина 3 тергита», что

делает его применение перспективным для целей биомониторинга. Общие для обеих пород результаты по внутривидовым межсемейным различиям и изменчивости экстерьерных признаков свидетельствуют об их инвариантности для вида *Apis mellifera* L. в целом и позволяют распространить полученные выводы на всех его представителей.

Результаты исследования экстерьерных признаков «помесных медоносных пчёл» пасек Нижегородской области свидетельствуют о высокой морфологической разнородности последних, при которой они характеризуются различным соотношением экстерьерных признаков пород *A. m. mellifera*, *A. m. caucasica* и *A. m. carnica*. В среднем по всем исследованным пасакам области у рабочих особей «помесных медоносных пчёл» соотношение экстерьерных признаков пород *A. m. mellifera* : *A. m. caucasica* : *A. m. carnica* составляет 1 : 1.3 : 1.6 и статистически значимо не отличается от теоретического распределения ( $\chi^2=3.82$ ,  $p=0.148$ ).

Оценка влияния степени антропогенной нагрузки на экстерьерные признаки «помесных медоносных пчёл» Нижегородской области, произведённая на примере пасек из двух контрастных по степени антропогенной нагрузки районов показала, что из числа исследованных экстерьерных признаков рабочих особей «помесных медоносных пчёл» «ширина правого переднего крыла» и «длина правого переднего крыла» имеют статистически значимую тенденцию к изменению своих значений под влиянием степени антропогенной нагрузки. При этом применение «изоморфных групп» *A. m. caucasica*, *A. m. carnica* и *A. m. mellifera* с целью уменьшения влияния морфологической гетерогенности «помесных медоносных пчёл» на результаты оценки влияния степени антропогенной нагрузки на значения экстерьерных признаков рабочих особей является одним из путей решения проблемы использования «помесных медоносных пчёл» в целях биомониторинга.

Подводя итог проведённым исследованиям, можно заключить, что среди экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы наиболее чувствительными к антропогенной нагрузке являются размерные признаки правого переднего крыла, но они же являются наиболее сильными дискриминаторами семей внутри пасек. Поэтому более пригодным для биоиндикационных исследований является признак «ширина 3 тергита» вследствие малой внутрисемейной изменчивости и слабых межсемейных различий.

## ВЫВОДЫ

1. Методами непараметрического дискриминантного анализа установлены статистически значимые межсемейные различия в породах *A. m. carnica* и *A. m. caucasica* по комплексу из 6 экстерьерных признаков. Наиболее сильными дискриминаторами семей, общими для обеих пород, являются признаки «длина правого переднего крыла» и «ширина правого переднего крыла», а наиболее слабым «ширина 3 тергита».

2. «Помесные медоносные пчёлы» пасек Нижегородской области характеризуются высокой морфологической разнородностью. Оценка соотношения экстерьерных признаков трёх пород (*A. m. mellifera*, *A. m. caucasica*, *A. m. carnica*) у рабочих особей исследованных пасек с помощью критерия  $\chi^2$  показала статистическую значимость различий между пчёлами различных пасек ( $\chi^2 = 710.36$ ,  $p<0.001$ ).

3. Между особями «помесных медоносных пчёл» пасек контрастных по степени антропогенной нагрузки Семёновского («удовлетворительная») и Кстовского («сильная») районов, были выявлены статистически значимые различия по признакам «длина 3 тергита», «ширина правого переднего крыла» и «длина правого переднего крыла».

4. При сравнении «изоморфных групп» *A. m. caucasica*, *A. m. carnica* и *A. m. mellifera* установлены статистически значимые различия по признакам «ширина правого переднего крыла» и «длина правого переднего крыла».

5. Среди экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы наиболее чувствительными к степени антропогенной нагрузки являются размерные признаки правого переднего крыла, однако признак «ширина 3 тергита» более пригоден для биоиндикации ввиду малой внутрисемейной изменчивости и слабых межсемейных различий.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:*

Брагазин, А.А. Статистический анализ экстерьерных признаков рабочих особей пород медоносной пчелы *Apis mellifera carnica* Pollmann и *Apis mellifera caucasica* Gorbatchev / **А.А. Брагазин**, А.А. Радаев, А.А. Нижегородцев, Д.Б. Гелашвили // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2012. — № 2 (3). — С. 119—122.

Брагазин, А.А. 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 // Поволжский экологический журнал. — 2013. — № 2. — С. 139—147.

Брагазин, А.А. Экологическое зонирование Нижегородской области / **А.А. Брагазин**, И.Н. Маркелов, А.А. Нижегородцев, В.А. Басуров // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2014. — № 1 (1). — С. 157—161.

### *Статьи в прочих научных журналах, тезисы докладов всероссийских и международных конференций:*

Брагазин, А.А. Экстерьерные отличия пород медоносной пчелы *Apis mellifera* L. / **А.А. Брагазин** [Электронный ресурс] // Принципы экологии: научный электронный журнал. — 2013. — Т. 2. — № 2. — С. 6 — 13. — URL: <http://ecopri.ru/journal/article.php?id=2481>

Брагазин, А.А. Применимость метрических экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы для целей биомониторинга / **А.А. Брагазин** // Животные: экология, биология и охрана: Тез. докл. конф., Саранск, 29 ноября, 2012 г. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. — С. 48—49.

Брагазин, А.А. Межсемейная изменчивость экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы / **А.А. Брагазин** // Инновационный потенциал молодежной науки: Тез. докл. конф., Уфа, 8 ноября, 2013 г. / Под ред. А.Ф. Мустаева. — Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. — С. 21—23.

Брагазин, А.А. Оценка влияния антропогенной нагрузки на значения экстерьерных признаков рабочих особей медоносной пчелы / **А.А. Брагазин**, А.А. Нижегородцев // Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий: Тез. докл. конф., Нижний Новгород, 13–14 января, 2014 г. / Под ред. проф. А.И. Дмитриева. — Нижний Новгород: Изд-во НГПУ им. К. Минина, 2014. — С. 21—23.

Брагазин, А.А. Распределение антропогенной нагрузки по административным районам Нижегородской области / И.Н. Маркелов, **А.А. Брагазин**, А.А. Нижегородцев, В.А. Басуров // Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий: Тез. докл. конф., Нижний Новгород, 13–14 января, 2014 г. / Под ред. проф. А.И. Дмитриева. — Нижний Новгород: Изд-во НГПУ им. К. Минина, 2014. — С. 127—129.