

**XII Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция
«Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов.
Физико- и общественно-географический анализ территорий»**

УДК 599.742.41

Е.Е. БОРЯКОВА, С.Ю. ПИВОВАРОВА
(Нижний Новгород)

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ООПТ: ПРИМЕНЕНИЕ
МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ
НА ПРИМЕРЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ
(г. Нижний Новгород)**

Проведено комплексное исследование индексов органов мелких млекопитающих. Рассмотрены показатели сопряженности между различными морфологическими и функциональными параметрами животных. Применен факторный анализ методом главных компонент для выявления ключевых переменных, отражающих косвенно стабильность экосистемы в целом. Полученные результаты вносят вклад в оценку состояния некоторых ООПТ в условиях г. Нижнего Новгорода.

Ключевые слова: морфофизиологические индикаторы, сообщества мелких млекопитающих, ООПТ, индексы органов, метод главных компонент.

ELENA BORYAKOVA, SOFIYA PIVOVAROVA
(Nizhny Novgorod)

**THE ECOLOGICAL DIAGNOSTICS OF THE SPECIAL PROTECTED NATURAL AREAS:
THE USE OF MORPHOPHYSIOLOGICAL INDICATORS
AT THE EXAMPLE OF SMALL MAMMALS
(Nizhny Novgorod)**

The complex study of the indexes of organs of small mammals is conducted. The indicators of interlinking between different morphological and functional parameters of animals are considered. There is used the factor-based analysis by the method of principal components for revealing the key variables that reflect indirectly the stability of ecosystem in common. The acquired results contribute to the evaluation of state of some special protected natural areas in the conditions of Nizhny Novgorod.

Key words: morphological and physiological indicators, communities of small mammals, Special Protected Natural Areas, indexes of organs, method of principal components.

Оценка качества природной среды является одной из ключевых задач экологии и охраны природы. Для получения объективных сведений о состоянии экосистем используются разнообразные методы мониторинга, среди которых особое место занимают биологические индикаторы. Использование биоиндикаторов существенно повышает эффективность контроля над состоянием окружающей среды, позволяя своевременно выявлять негативные тенденции и принимать меры по предотвращению экологических кризисов.

Мелкие млекопитающие представляют собой важнейший биоценотический компонент, оказывающий существенное влияние на динамику сообществ. Обладая достаточно высокой изменчивой численностью, видовым разнообразием, избирательностью стационарного распределения, они могут служить удобным модельным объектом, выступающим как индикатор внешних нарушений биоценозов [7] и, в частности, уровня антропогенного воздействия.

Метод морфо-физиологических индикаторов (ММФИ) является одним из важнейших подходов в экологической диагностике и мониторинге состояния окружающей среды. ММФИ базируется на экологической обусловленности морфологических и физиологических особенностей животных, а также на закономерной связи между морфой (массой или размером органов) и их функциями.

Целью данной работы являлось исследование и анализ состояния мелких млекопитающих и влияния на них условий среды крупного города, а также установление валидности использования вида желтогорлая мышь в роли биоиндикатора среды при умеренном антропогенном прессе.

Материалы и методы исследования

Отлов мелких млекопитающих производился в полевой сезон 2023 гг. (июль-ноябрь) на территории ООПТ «Дубрава Ботанического Сада Университета» и ООПТ «Щелоковский хутор» (включая лесной массив «Марьино роц»)). Выбор пробных площадей обусловлен степенью рекреационной нагрузки и характером растительного покрова.

Дубрава Ботанического сада университета – ландшафтный памятник природы, расположенный в юго-восточной части города Нижний Новгород. Он представлен массивом широколиственного леса, расположенном на склонах левого берега р. Рахмы. В насаждениях господствуют старые дубравы, возраст которых от 85 до 150–180 лет. Они занимают 223 га. Небольшая площадь – 35 га – под молодыми дубравами 45–55-летнего возраста. Древостой вместе с дубом слагают липа, клен, вяз шершавый. В подлеске – орешник, бересклет бородавчатый, жимолость лесная, изредка – волчье лыко. В составе травостоя присутствуют как растения неморальной свиты, так и охраняемые виды – хохлатка Галлера, медуница неясная, зубянка пятилистная [4]. «Марьино роц» и «Щелоковский хутор» – единый массив естественного широколиственного леса, сохранившийся на юго-востоке Н. Новгорода. Вся территория, занимаемая этими лесами, расчленена балочными системами, ориентированными к рекам Рахме (приток Волги) и Кове (приток Рахмы). На многих участках массива сохранился коренной тип леса – высокобонитетная старая дубрава. Представлены две, близкие по составу древостоя, ассоциации: дубрава орешниково-снытевая и дубрава орешниково-волосистоосоковая. Есть также и переходные между ними типы. Травостой слагается разнотравьем. Хорошо выражена лесная подстилка [1]. Во многих местах лесного массива в целом, особенно в северной части, в результате рубок дубравы заменились производными типами леса – осинниками и липняками с дубравным травостоем, реже березняками.

В процессе работы закладывали пробные площади 20×20 м и осуществляли стандартное геоботаническое описание по методике В.Н. Сукачева. Для определения обилия встреченных видов использовали шкалу Браун-Бланке. Отлов мелких млекопитающих производили с использованием стандартных методик с использованием ловушек Геро и ловчих канавок. Отработано 1525 ловушко-суток и 376 цилиндрико-суток. Поймано 50 особей, принадлежащих к 8 видам, из них обычные 3: рыжая полевка *Myodes glareolus* Shreb., желтогорлая мышь *Apodemus flavicollis* Melch., бурозубка обыкновенная *Sorex araneus* L. Исследование морфофизиологической реактивности организма мелких млекопитающих проводили с использованием ММФИ. Снимались следующие показатели: масса органа m (мг), масса тела M (г), индекс органа – C (%) = m/M . Рассчитывали индекс модельного органа для каждой особи, а затем усредненные значения для каждой половозрастной группы.

Обработку полученного массива данных осуществляли с применением пакетов Statistica 10.0 и MS Office Excel 2021, выборки были проверены на соответствие нормальному распределению.

Результаты и их обсуждение

Были заложены пробные площади в следующих растительных ассоциациях:

- Дубо-Клено-Липняк пролесниково-снытевый
- Клено-Дубо-Липняк снытевый
- Дубо-липняк пролесниково-медуницевоый
- Дубо-клено-липняк копытнево-снытевый

По итогам отловов доминирующим видом оказалась желтогорлая мышь, кодоминантом – рыжая полевка. Также многочислен вид обыкновенная бурозубка. Именно представители этих трех видов и были отобраны для дальнейшего анализа.

Нами был осуществлен анализ корреляционных связей между индексами различных органов. Это важно для понимания того, насколько тесно связаны изменения в одних органах с изменениями в других. Например, если наблюдается высокая положительная корреляция между массой сердца и объемом легких, это может указывать на общую реакцию организма на физическую нагрузку или адаптацию к гипоксическим условиям.

Статистически значимая корреляция по Пирсону (нормальное распределение, значения эксцесса не превышали 3) у *Apodemus flavicollis* была обнаружена между индексом печени и индексом селезенки (0.55), индексом сердца и индексом почек (0.76), индексом легких и индексом печени (0.72) ($p < 0.05$) (табл. 1). Для *Sorex araneus* корреляции (нормальное распределение, эксцесс меньше 3) обнаруживаются между индексом печени и индексом селезенки (0.74), индексом почек и индексом селезенки (0.70), между индексом почек и индексом печени (0.91) ($p < 0.05$) (табл. 2). В то же время достоверно значимых корреляций между индексами органов у *Myodes glareolus* (нормальное распределение, эксцесс меньше 3) обнаружено не было.

Анализ различий выборок с помощью t-критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони показал достоверные различия по индексам печени и селезенки зверьков видов *Apodemus flavicollis* и *Sorex araneus*, по индексу печени – *Apodemus flavicollis* и *Myodes glareolus*. На основании этого можно предположить, что виды не взаимозаменяемы при проведении экологической оценки местности.

Таблица 1, 2

**Сопряженность различных индексов органов
 для представителей видов *Apodemus flavicollis* и *Sorex araneus***

	селезенка	печень	почки		селезенка	печень	почки
печень	0.55			печень	0.74		
почки	0.33	0.07		почки	0.70	0.91	
сердце	0.31	0.02	0.76	сердце	-0.48	0.06	0.01
легкие	0.37	0.72	0.11	легкие	0.07	0.09	0.17
<i>Apodemus flavicollis</i>				<i>Sorex araneus</i>			

Примечание: достоверные значения ($p < 0.05$) выделены цветом

В целом, полученные сопряженности параметров достаточно логичны. Функции селезенки многообразны: кроветворение, формирование иммунитета, депо кроветворных элементов, участие в стрессовых реакциях. Это указывает на реактивность и чувствительность органа к широкому спектру воздействий. Доказано существование линейной взаимосвязи индексов селезенки и печени, проявлением чего является гепатоспленомегалия. Снижение корреляции между размерами печени и селезенки может свидетельствовать о нарушении кровоснабжения или воспалительном процессе [5]. Удаление селезенки влечет за собой снижение антитоксической и холистерогенной функции печени [6]. Повышенные значения индексов почки и сердца отражают высокий уровень метаболизма [5]. Почки – важный центр дезинтоксикации организма, который участвует в регуляции кровообращения и кроветворения путем продукции ренина и эритропоэтина, что делает их напрямую связанными с селезенкой [6]. Кроме того, почки играют решающую роль в контроле объема и давления крови, электролитного и кислотно-щелочного баланса, секреции эритропоэтина.

Значения индексов органов отражены на рис. на с. 8.

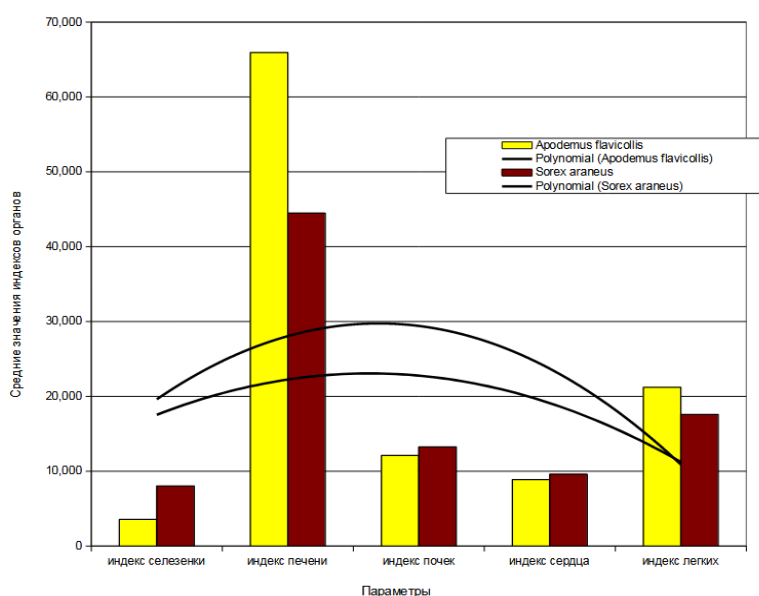


Рис. Вариативность индексов органов
у видов *Apodemus flavicollis* и *Sorex araneus* на исследованных пробных площадях

На заключительном этапе нами был приведен факторный анализ методом главных компонент Principal Components Analysis (PCA). В качестве модельного использован вид желтогорлая мышь – как потенциальный для биомониторинга. Для вида *Apodemus flavicollis* учитывались три фактора, т. к. в сумме они дают более 80% дисперсии (табл. 3). Они связаны с индексами органов мелких млекопитающих, проецируя влияние среды на организм животного.

Таблица 3

Результаты для оценки взаимосвязи между индексами органов у *Apodemus flavicollis*

Переменные	Факторные координаты переменных		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Индекс селезенки	0.79	0.07	0.58
Индекс печени	0.74	0.56	-0.02
Индекс почек	0.62	-0.69	-0.19
Индекс сердца	0.55	-0.75	-0.09

Фактор 1 (46.3% объясненной дисперсии) положительно связан со всеми индексами органов, наиболее сильно он сопряжен с индексами селезенки и печени. Вероятно, он проецирует интегральное воздействие техногенных факторов слабой интенсивности, оказывающих влияние не только на структуру сообществ, но и на физиологические процессы отдельных особей. Косвенным свидетельством изменения и нарушения физиологических процессов является относительная масса внутренних органов, функции которых непосредственно связаны с обменом веществ и энергии в организме, таких как печень, селезенка, почки, сердце, легкие [3].

Фактор 2 (33.1% объясненной дисперсии) наиболее значительно сопряжен с индексом сердца, индексом почек (негативная корреляция), а также с индексом печени (умеренная положительная корреляция), при этом связь с индексом селезенки незначительна. Изменение величины индекса сердца

является ответом сердечно-сосудистой системы животного на повышение двигательной активности, что касается и выделительной системы. Увеличение индекса печени зверьков можно рассматривать как защитную реакцию организма, которая выражается в депонировании питательных веществ. Исходя из совокупности данных, вероятно, второй фактор связан с активной поисковой деятельностью, связанной с пропитанием и накоплением запасных питательных веществ. Косвенно его можно считать отражением увеличения мозаичности растительного покрова при умеренном антропогенном прессе [2], что, в свою очередь, хорошо укладывается в исходное предположение об адекватности использования вида *Apodemus flavicollis* в роли биоиндикатора условий среды.

Третий фактор (11.2% объясненной дисперсии) положительно связан с индексом селезенки (умеренная положительная корреляция). Исследования феномена «гигантской селезенки» у мелких млекопитающих позволяют рекомендовать его в качестве маркера зараженности природно-очаговыми инфекциями, либо паразитарными инвазиями [5].

Несмотря на то, что ранее нами было подтверждено [2], что умеренный антропогенный пресс (2 стадия дегрессии растительного покрова) поддерживает разнообразие сообществ микромаммалий, увеличивая гетерогенность среды (ООПТ «Дубрава Ботанического сада Университета», индекс Бергера-Паркера для зооценотической составляющей – 0.25, оцененная рекреационная нагрузка составляет около 30 баллов), на тех же территориях зверьки подвержены, по-видимому, скрытому стрессу.

Таким образом, ММФИ может быть применен для решения экологических задач при изучении природных популяций мелких млекопитающих, населяющих естественные и подверженные антропогенному воздействию местообитания, способствуя обеспечению устойчивого развития региона.

Литература

1. Бакка С.В., Киселева Н.Ю. Особо охраняемые природные территории Нижегородской области: аннотированный перечень. Н. Новгород: Минприроды Нижегородской обл., 2009.
2. Борякова Е.Е., Умнова А.И. Эколого-фитоценотический анализ и сообщества мелких млекопитающих в условиях ООПТ «Дубрава Ботанического сада Университета» (г. Нижний Новгород) // Электрон. науч.-образоват. журнал ВГСПУ «Грани познания». 2023. № 5(88). С. 4–9. [Электронный ресурс]. URL: <http://grani.vspu.ru/files/publics/1699013003.pdf> (дата обращения: 22.09.2025).
3. Гашев С.Н. Метод морфо-физиологических индикаторов в оценке состояния окружающей среды // Calameo. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.calameo.com/books/002865736a1baa1ca78ca> (дата обращения: 22.09.2025).
4. Лукина Е.В., Баканина Ф.М. Памятники природы города Нижнего Новгорода. Н. Новгород; Чебоксары: Чувашия, 1997.
5. Оленев Г.В. Функционально-онтогенетический подход в изучении популяций цикломорфных млекопитающих: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2004.
6. Петренко В.М. Сравнительная анатомия почек и селезенки у грызунов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-4. С. 710–713.
7. Попов И.Ю. Структура и динамика населения мелких млекопитающих в связи с сукцессиями растительности в Европейской южной тайге: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 1998.