

УДК 504.058:599.32 – Воздействие природных факторов, измененных деятельностью человека.
Млекопитающие. Грызуны

К МЕТОДАМ РАЗРАБОТКИ НАУЧНЫХ ОСНОВ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

© 2015 Ф.А. Темботова, Е.П. Кононенко, А.Х. Амшокова

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, г.Нальчик

Статья поступила в редакцию 28.09.2015

Предварительные результаты, полученные при сравнении природных и техногенных генетически датированных выборок малой лесной мыши по индексу флуктуирующей асимметрии с использованием двух методических подходов, предложенных В. М. Захаровым и др. и А.Г. Васильевым с соавторами существенно различаются. Наиболее чувствительным и позволяющим получать объективные оценки является метод А.Г. Васильева при вычислении индивидуальных и групповых дисперсий общей асимметричности, а также ее компонент: направленной и флуктуирующей асимметрии. Обоснована возможность использования изменчивости проявлений полового диморфизма для оценки уровня стрессированности популяций мелких млекопитающих.

Ключевые слова: Центральный Кавказ (северный макросклон), млекопитающие, грызуны, лесные мыши *Apodetus*, генетическая и морфологическая изменчивость, флуктуирующая асимметрия, мониторинг качества окружающей среды.

Одной из актуальных проблем не только биологических наук, но и проблем существования современного общества, является мониторинг состояния популяций, длительное время обитающих в зоне техногенного загрязнения, для изучения адаптивной реакции организмов на эти условия среды, что следует из ряда документов (Перечень критических технологий РФ от 14.07.2012, Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы).

В качестве тест – объектов многие исследователи предлагают использовать широко распространенных мелких млекопитающих [1-5]. Изучение ответной реакции природных популяций модельных видов мелких млекопитающих на антропогенный фактор среды обитания имеет большое теоретическое и практическое значение, поскольку эти популяции обладают наибольшим сходством с гетерогенной популяцией человека [6], соответственно, отработанные подходы к изучению изменчивости мелких млекопитающих возможно использовать для оценки качества не только их среды существования, но и человека.

Для оценки состояния популяций широко используются методы, основанные на встреча-

емости нарушений морфогенеза, в частности анализ стабильности индивидуального развития по проявлениям флуктуирующей асимметрии (ФА) [7-11]. Необходимо отметить, что в условиях горной территории не менее значимое, в сравнении с загрязнением, влияние на организм оказывает комплекс факторов, связанных с высотным градиентом [12], тогда как исследования их синергетического влияния (загрязнения и факторов природной абиотической среды) на организм млекопитающего в горах практически отсутствуют. Захаровым В.М. с соавторами разработана методика оценки среды по стабильности развития организмов [13, 14], которая явилась основой «Методических рекомендаций по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ», утвержденных распоряжением Росэкологии 16.10.2003 г.

На Центральном Кавказе, и на Кавказе в целом, большинство работ по изучению влияния факторов техногенной природы на мелких млекопитающих выполнены на морфофизиологических, в том числе гематологических показателях [15-18]. Ряд работ посвящены изучению изменчивости морфологических (неметрических и морфометрических) признаков в природных и техногенных условиях [12, 19-22].

Цель работы первого этапа исследований – отработка методических подходов в оценке качества среды по состоянию популяций мелких млекопитающих. Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи. 1. определение возможности использования м-ДНК в мониторинге состояния среды, 2. сравнительный анализ

Темботова Фатимат Асланбиевна, главный научный сотрудник, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН. E-mail: iemt@mail.ru

Амшокова Альбина Хасмановна, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук.

E-mail: iemt@mail.ru

Кононенко Екатерина Павловна, заведующий лабораторией экологии и эволюции позвоночных животных, кандидат биологических наук. E-mail: iemt@mail.ru

двух методических подходов [14, 23] в оценке стабильности развития по уровню ФА с целью выявления наиболее чувствительного и эффективного метода. 3. определение возможности использования традиционных краниометрических и одонтологических признаков в мониторинге состояния среды.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – малая лесная мышь (*Apodemus uralensis* Pall.), один из широко распространенных и многочисленных представителей мелких млекопитающих на Центральном Кавказе. В работе исследовано 40 черепов взрослых животных из двух точек – из техногенной (окр. с. Былым, район хвостохранилища Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината, 1200 м над ур. м.) и природной территорий (п. Эльбрус, 1800 м над ур. м.). ДНК-исследования проведены из техногенной у 8 экз. лесных мышей, из природной – 17 экз.

Для молекулярно-генетического анализа использовали участок гена цитохрома *b* мтДНК длиной 736 п.н. Выделение ДНК из заспиртованных мышц проводилась с использованием набора Diatom Prep100 (Изоген, Москва). Фрагмент гена цитохрома *b* амплифицировали с использованием праймеров L-14724 и H-15573 [24]. Полимеразно-цепная реакция проводилась по методике, описанной в той же работе. Выравнивание полученных последовательностей осуществляли вручную с помощью программы BioEdit [25]. Статистическая обработка и анализ генетических данных проводилась с помощью пакета программ Mega [26].

Флуктуирующая асимметрия неметрических признаков черепа изучались с помощью двух методик, одна из которых разработана В.М. Захаровым с соавторами [14], вторая – А.Г. Васильевым с соавторами [23]. Согласно этим методикам в качестве маркера, отражающего реакции популяции на экстремальное воздействие среды, использовалось число мелких отверстий для нервов и кровеносных сосудов на левой и правой сторонах черепа.

Интегральным показателем стабильности развития для комплекса меристических признаков была принята средняя частота асимметричного проявления на признак. Этот показатель рассчитывался как средняя арифметическая числа асимметричных признаков у каждой особи, отнесенная к числу используемых признаков. Состояние исследуемых выборок характеризовалось на основе балльной оценки стабильности развития, предложенной В.М. Захаровым с соавторами [14] для млекопитающих. Значимость различий между выборками оценивали с помощью метода непараметрической статистики Краскела – Уоллиса.

Изучение ФА абсолютных параметров черепа проводили по Гилевой Э.А. с соавторами [4] с некоторыми модификациями исполнителей проекта для чего выбран 21 билатерально-симметричный краниометрический признак. 1. коронарная длина верхнего зубного ряда; 2. коронарная длина M^1 ; 3. коронарная длина M^2 ; 4. коронарная длина M^3 ; 5. длина резцового отверстия; 6. максимальная ширина проекции скуловой дуги; 7. расстояние от альвеолы M^1 до края резцовых отверстий; 8. расстояние от альвеолы M^1 до альвеолы резца; 9. расстояние от заднего края скуловой дуги до заглазничных бугорков; 10. расстояние от середины межтеменной кости до заглазничных бугорков; 11. расстояние от середины межтеменной кости до края шва затылочной кости; 12. расстояние от края шва затылочной кости до заглазничных бугорков; 13. расстояние от края шва затылочной кости до переднего края скуловых дуг; 14. коронарная длина нижнего зубного ряда; 15. высота нижней челюсти; 16. расстояние от вершины сочленовного отростка до симфизияльного бугорка; 17. расстояние от переднего края альвеолы M^1 до симфизияльного бугорка; 18. высота челюсти в районе альвеолы M_3 ; 19. длина нижней диастемы; 20. расстояние от альвеолы резца до самой глубокой точки диастемы; 21. расстояние от переднего края альвеолы M_1 до самой глубокой точки диастемы. При исследовании использовались оцифрованные изображения черепа, измерения проводились в программе AxioVision.

В работе также исследованы 14 абсолютных параметров черепа: 1. кондилобазальная длина черепа, 2. длина лицевого отдела, 3. длина мозгового отдела, 4. длина верхней диастемы, 5. длина верхнего ряда зубов, 6. предглазничная ширина, 7. межглазничная ширина, 8. ширина носовых костей в области размаха отростков носовых костей, 9. скуловая ширина, 10. наибольшая ширина мозговой капсулы, 11. высота черепа в области барабанных камер, 12. длина резцового отверстия, 13. длина нижнего ряда зубов, 14. высота нижней челюсти.

Статистическая обработка проведена с помощью параметрических методов при 5% уровне значимости с использованием дисперсионного и дискриминантного анализа с применением пакета программ Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения генетической изменчивости лесных мышей рода *Apodemus* использован участок мтДНК цитохром *b* длиной 736 п.н. В анализируемом фрагменте гена цитохрома *b* мтДНК обнаружено 27 вариабельных сайта. Из них 16 были парсимониально-информативные (встречающихся не менее чем в двух последовательностях), синглтонов было 11. Нуклеотид-

ный состав смещен в сторону уменьшения доли гуанина (Т – 28,7%, С – 26,3%, А – 31,2%, G – 13,8%).

Для 17 экземпляров *A. uralensis* из контрольной зоны описано 11 гаплотипов, большая часть из них уникальные (9) и только 2 встречены в нескольких образцах от 3-5. Доля уникальных образцов в контрольной выборке составила 53%. Полученный фрагмент цитохрома b мт ДНК содержал 21 переменный сайт, из которых 11 парсимониально-информативные, а 10 синглтоны.

В условиях техногенной зоны (п. Былым) для 8 особей лесных мышей описано 6 гаплотипов, четыре из них являются уникальными. Доля уникальных гаплотипов составляет 50%. Выявлено 9 переменных сайтов (1,22% от общей длины фрагмента), в том числе 7 парсимониально-информативных. Обращает на себя внимание факт отсутствия сходных гаплотипов у зверьков природной и техногенной территории, тем не менее средняя межгрупповая генетическая дистанция между природными и техногенными выборками лесных мышей, рассчитанная по двухпараметрическому алгоритму Кимуры [27] весьма низкая и составляет всего 0.001 ± 0.000 .

Как видно на рисунке 1, филогенетическое дерево, построенное методом ближайшего связывания (Neighbor-Joining) с использованием двухпараметрической модели Кимуры [27], слабо структурировано, большинство кластеров имеют низкую бутстрэп поддержку (<70 %), четкого деления на гаплогруппы зверьков из техногенной и природной зоны не прослеживается.

Несмотря на то, что средняя межгрупповая дистанция низкая, особи из техногенных условий расположены на дереве компактно и несколько обособленно от основной группы мышей из природной среды.

Сравнение с данными литературы [28-34] показало, что все выявленные гаплотипы в контрольной и импактной выборках подтверждают соответствие изученных особей виду *A. uralensis*.

Предварительные результаты позволяют заключить, что данный тип загрязнения (отходами вольфрамо-молибденового комбината) в среднегорьях Центрального Кавказа за период хвостохранилища комбината (75 лет) у малой лесной мыши не привел к явным генетическим изменениям, в частности фрагмента гена цитохрома b мтДНК.

В целях отработки наиболее подходящей методики оценки стабильности развития организма мелких млекопитающих, как изложено выше, реакцию вида на техногенное загрязнение отходами вольфрамо-молибденового комбината исследовали разными методами. В первом случае, использовалась методика, разработанная Захаровым В.М. с соавторами [14], согласно которой оценка стабильности развития проводилась по 10 морфологическим признакам, отработанным на разных видах мышей, в том числе на малой лесной мыши.

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что величины интегрального показателя стабильности развития, рассчитанные с учетом пола, как в контрольной, так и техногенной выборках соответствовали I баллу, т. е. «условной норме» по пятибалльной шкале Захарова В.М., приведенной в таблице 2.

Значимость различий между выборками оценивали с помощью метода Краскела-Уоллиса. Как видно из таблицы 3, различия по полу по методике В.М. Захарова [14] как в техногенных, так и природных условиях не достоверны.

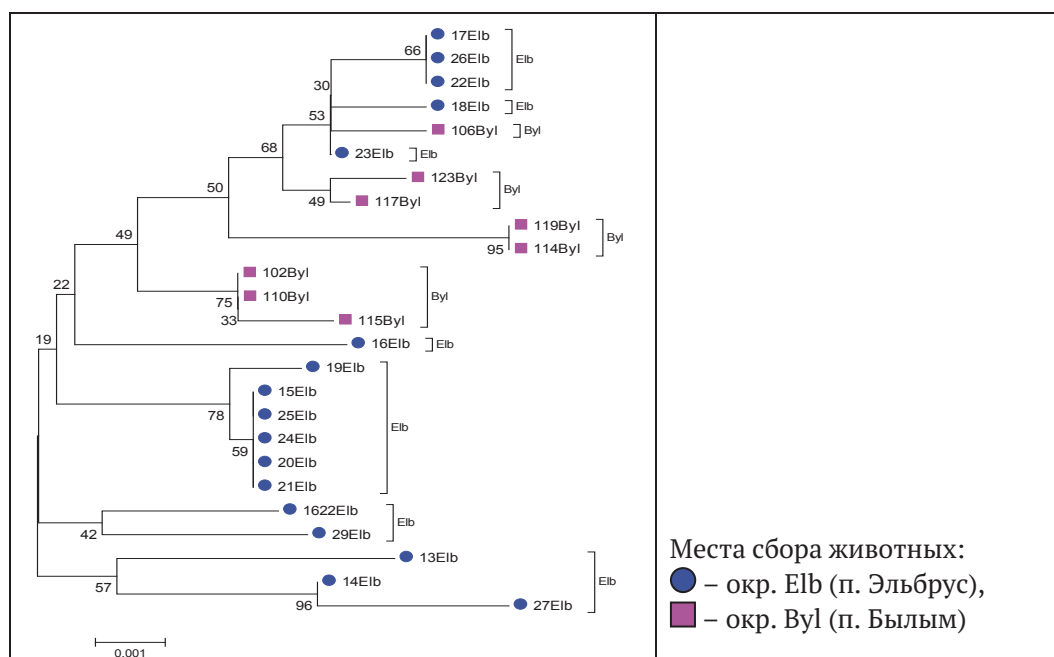


Рис. 1. Дендрограмма сходства гаплотипов фрагмента гена цит. b мтДНК мышей подрода *Sylvaemus* Центрального Кавказа

Таб. 1. Уровень флуктуирующей асимметрии в техногенных и природных выборках *A. uralensis*

Выборки	N	ФА±ошибка
п. Эльбрус ♂♂	21	0.29±0.03
п. Эльбрус ♀♀	21	0.27±0.03
п. Былым ♂♂	21	0.33±0.04
п. Былым ♀♀	22	0.28±0.03

Таб. 2. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для млекопитающих [14]

Балл	Качество среды	ФА
1	Условно нормальное	<0.35
2	Начальные незначительные отклонения от нормы	0.35–0.39
3	Средний уровень отклонений от нормы	0.40–0.44
4	Существенные отклонения от нормы	0.45–0.49
5	Критическое состояние	> 0.49

Согласно методике А.Г. Васильева с соавторами [23] при оценки ФА выборок использовалось максимальное число морфологических признаков [35] (в данном исследовании 37). Наиболее высокий уровень флуктуирующей асимметрии выявлен у животных п. Эльбрус, однако, только у самок достоверно (табл. 3), что указывает на снижение стабильности индивидуального развития в этой выборке. При этом существенный половой диморфизм по ФА выявлен у животных только в импактной выборке.

Как видно из приведенных данных, результаты, полученные с использованием двух методических подходов существенно различаются. Одной из возможных причин этого, на наш взгляд, является набор признаков, используемых для оценки флуктуирующей асимметрии. Из 10 краниологических признаков, разработанных и предложенных Захаровым В.М. [14], у лесных мышей Центрального Кавказа обнаружены только 8, что еще больше сокращает число используемых признаков в анализе.

Исходя из полученных предварительных результатов можно заключить, что наиболее чувствительным и позволяющим получать объективные оценки является предложенный А.Г. Васильевым [23] подход к вычислению индивидуальных и групповых дисперсий общей асимметричности, а также ее компонент: направленной асимметрии

и флуктуирующей асимметрии. Согласно данной методике для получения объективных оценок в исследовании необходимо использование всех обнаруженных неметрических признаков после предварительного проведения корреляции Спирмена и выбраковки части из них, связанных с полом, возрастом и друг с другом.

Для количественных признаков черепа малой лесной мыши величина флуктуирующей асимметрии была рассчитана как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Далее был использован интегральный показатель стабильности развития для комплекса мерных признаков – средняя величина относительного различия между сторонами на признак. Этот показатель рассчитан как среднее арифметическое суммы относительной величины асимметрии по всем признакам у каждой особи, отнесенное к числу используемых признаков. В качестве показателя ФА параметров черепа малой лесной мыши использован индекс ФА2 ((П-Л)/(П+Л)/n) [4].

При сравнении животных внутри популяций по полу достоверных отличий не выявлено.

Результаты, полученные при расчете интегрального показателя стабильности развития приводятся в таблице 4, для сравнения приведена также таблица 5.

Таб. 3. Оценка значимости различий по уровню ФА между *A. uralensis* из техногенной и природной выборок Центрального Кавказа (тест Краскела-Уоллиса)

Выборки	ФА	Уровень значимости различий по критерию H Краскела-Уоллиса	FAnm (%)	Уровень значимости различий по критерию H Краскела-Уоллиса
п. Эльбрус ♂♂	0.29±0.03	H=0,014; N=42; P=0,906	23,1±0,91	H=2,788; N=122; P=0,095
п. Эльбрус ♀♀	0.27±0.03			
п. Былым ♂♂	0.33±0.04	H=1,544; N=43; P=0,214	22,9±1,07	H=3,915; N=144; P=0,048
п. Былым ♀♀	0.28±0.03			
п. Эльбрус ♂♂	0.29±0.03	H=0,806; N=42; P=0,369	23,1±0,91	H=0,0008; N=137 P=0,977
п. Былым ♂♂	0.33±0.04			
п. Эльбрус ♀♀	0.27±0.03	H=0,788; N=43; P=0,779	25,2±0,98	H=11,911; N=129; P=0,0006
п. Былым ♀♀	0.28±0.03			
по В.М. Захарову [14]		по А.Г. Васильеву с соавтор. [30]		

Таб. 4. Оценка отклонений состояния малой лесной мыши (с учетом пола) от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития количественных признаков в условиях Центрального Кавказа

окр. с. Былым		окр. п. Эльбрус	
самцы	самки	самцы	самки
0.011044	0.01191	0.010755	0.008276

Данные по флуктуирующей асимметрии, основанные на изучении количественных параметров черепа, показали стабильность состояния обеих популяций, что может быть связано с незначительным объемом выборок и требует дальнейшего исследования.

В данном исследовании была отработана гипотеза, выдвинутая авторами, согласно которой в качестве индикатора стрессированности популяции млекопитающих, возможно использование показателя выраженности полового диморфизма и его направления в градиенте факторов среды.

Так, нами ранее, на примере широко распространенного хищного млекопитающего, сформулировано положение об оценке экстремальности условий среды по градиенту изменчивости черепа, согласно которому с ухудшением условий существования череп самок по линейным признакам приобретает черты черепа самцов. В условиях Северного Кавказа ухудшение условий существования для широко распространенного вида, в частности обыкновенной лисицы, следует связывать с аридизацией климата в целом, и экосистем в частности. Соответственно маскулинизация (фенотипическое приближение к самцам) черепа самок на Северном Кавказе имеет направление с северо-запада на юго-восток.

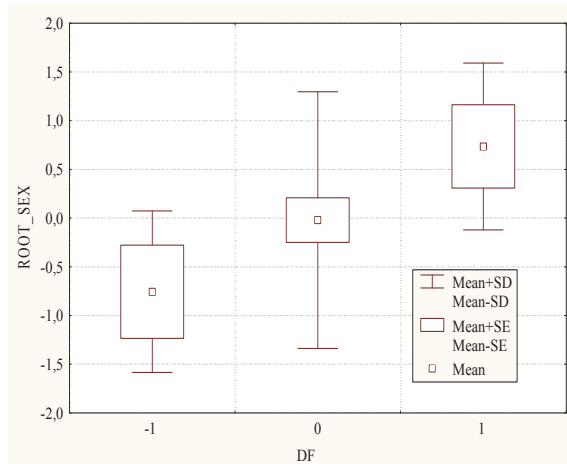


Рис. 2. Значения интегрального фактора полового диморфизма *A. uralensis* (ROOT_SEX) и трех состояний особей (DF):

– 1. самец имеет габитус самки; 0. габитус соответствует полу; 1. самка имеет габитус самца

Таб. 5. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития количественных признаков [14]

Балл	Величина показателя стабильности развития
I	0.040
II	0.040-0.044
III	0.045-0.049
IV	0.050-0.054
V	0.054

В контексте изложенного при изучении черепа малой лесной мыши установлено следующее. Половой диморфизм по абсолютным параметрам черепа в изученных выборках достоверно не выражен (рис. 3), при этом в выборке из окр. Былыма по 53% признаков крупнее самки, в выборке из окр. п. Эльбрус по 60% – крупнее самцы.

При сравнении животных одного пола из двух локалитетов отличия также слабо выражены. Объединение выборок (т.е. без учета пола) показало, что по 53% признаков животные из окр. Былыма крупнее, по двум признакам, связанным с нижней челюстью – достоверно.

Как видно на рис. 2 и 3 при графическом отображении оси полового диморфизма малой лесной мыши с учетом правильности распознавания пола выявлена разнонаправленность проявления полового диморфизма в двух популяциях малой лесной мыши. В окр. п. Эльбруса самки по габитусу приближаются к самцам, в окр. Былыма – самцы как самки, на основе чего можно предположить, что процесс онтогенеза в контрольной и импактной выборках отличается.

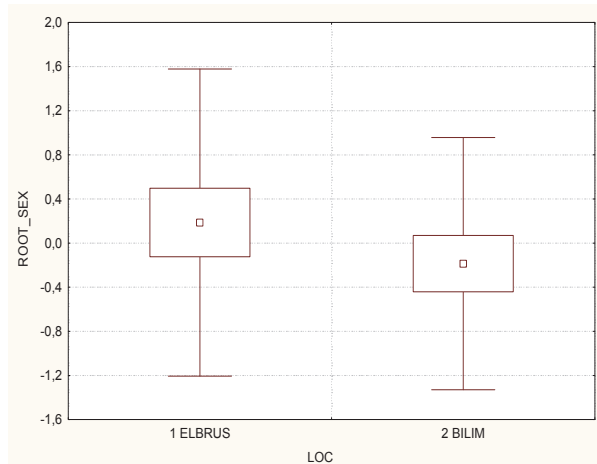


Рис. 3. Географическое варьирование выраженности полового диморфизма *A. uralensis* Центрального Кавказа из двух локалитетов:

окр. п. Эльбрус – ELBRUS, окр. п. Эльбрус – ELBRUS, окр. с. Былым – BILIM

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Генетический анализ (фрагмент гена цитохрома b мтДНК) малой лесной мыши из техногенной (п. Былым, ТВМК) и природной территорий (п. Эльбрус) показал, что вид на исследуемой территории Центрального Кавказа генетически однороден, хотя особи из техногенных условий на дендрограмме образовали слабо обособленный и компактный кластер.

Морфологический анализ выявил разнонаправленность проявления полового диморфизма, что позволяет предположить – онтогенетические механизмы, а именно скорость роста самцов и самок, в изученных популяциях протекают по-разному. Возможно, маскулинизация самок из популяции окрестностей п. Эльбрус свидетельствует о более экстремальных для вида условиях. Оценку стрессированности популяций на основе проявления полового диморфизма в градиенте факторов среды более корректно будет провести после добавления выборок из других географических точек. Данные по количественным параметрам черепа, напротив, показали слабую флуктуирующую асимметрию у вида, свидетельствующую о стабильности состояния обеих популяций, или о меньшей пригодности использования данных параметров для мониторинговых исследований в оценке состояния среды.

Сравнительный анализ двух фенетических методов [14, 23], используемых для оценки стабильности развития по уровню ФА, показал, что наиболее «чувствительным» является метод, предложенный А.Г. Васильевым [23, 10, 35]. Как отмечает сам автор [36], главным преимуществом метода является возможность получать индивидуальные оценки флуктуирующей и направленной асимметрии и их соотношения, следовательно, оценивать стабильность развития не только группы, но и отдельных особей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безель, В.С. Популяционная экотоксикология млекопитающих / Безель В.С. - М.: Наука, 1987. - 129 с.
2. Бердюгин, К.И. Организация наблюдений за состоянием населения мелких млекопитающих / К.И. Бердюгин, И.А. Кузнецова // Система мониторинговых наблюдений за состоянием биоты на территории Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. С. 96-97.
3. Гилева, Э.А. Эколого-генетический мониторинг с помощью грызунов (уральский опыт) / Э.А. Гилева - Екатеринбург: Изд-во уральского ун-та, 1997. - 106 с.
4. Гилева, Э.А. Флуктуирующая асимметрия краниометрических признаков у грызунов (Mammalia: Rodentia): межвидовые и межпопуляционные сравнения / Э.А. Гилева, Л.Э. Ялковская, А.В. Бородин, С.В. Зыков, И.А. Кшнясев // Журн. общей биологии. - 2007. - Т. 68, №3. - С. 221-230.
5. Шевченко, В.А. Генетические последствия действия ионизирующих излучений / В.А. Шевченко, М.Д. Померанцева - М.: Наука, 1985. - 279 с.
6. Ильенко, А.И. Генетические аспекты в изучении радиэкологии природных популяций мелких млекопитающих / А.И. Ильенко, Т.П. Крапивко // Проблемы радиационной генетики на рубеже веков: Тезисы докладов. - Москва, 2000. - С. 275.
7. Захаров, В.М. Асимметрия животных (популяционно-фенетический подход) / В.М. Захаров. - М.: Наука, 1987. - 216 с.
8. Захаров, В.М. Стабильность развития / Захаров В.М., Борисов В.И., Баранов А.С., Валецкий А.В. // Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды - Центр экологической политики России. М., 1996. - С. 65-77.
9. Васильев, А.Г. Фенетический мониторинг популяций красной полевки (*Clethrionomys rutilus* Pall.) в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа / А.Г. Васильев, И.А. Васильева, В.Н. Большаков // Экология. - 1996, № 2. - С. 117-124.
10. Васильев, А.Г. Эпигенетические основы фенетики: на пути к популяционной мерономии / А.Г. Васильев - Екатеринбург: Академкнига, 2005. - 640 с.
11. Гилева, Э.А. Флуктуирующая асимметрия краниометрических признаков у восточноевропейской полевки из зоны радиационного неблагополучия / Э.А. Гилева, Д.Ю. Нохрин // Экология. - 2001, № 1. - С. 44-49.
12. Амшокова, А.Х. Изменчивость неметрических признаков черепа малой лесной мыши (Rodentia, Muridae) на Центральном Кавказе. Сообщение 2. Изменчивость в техногенно нарушенных экосистемах / А.Х. Амшокова, Ф.А. Темботова // Животный мир горных территорий. - М.: КМК, 2009. - С. 175-180.
13. Захаров, В.М. Биотест: интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В.М. Захаров, Д.М. Кларк - Московское отделение МФ «Биотест». М., 1993. - 68 с.
14. Захаров, В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов - М.: Центр экологической политики России, 2000. - 66 с.
15. Басель, А.А. Изучение морфофизиологических показателей лесной мыши для оценки промышленного загрязнения экосистем / Басель А.А., Барагунова Е.А., Темботова Э.Ж. // Тез. докл. I научно-практической конференции «Экология - I». - Нальчик: 1989. - С. 125.
16. Темботова, Э.Ж. Показатели крови мелких млекопитающих в условиях техногенных экосистем / Э.Ж. Темботова, А.А. Басель, Е.А. Барагунова // Материалы по горной экологии. Межвед. сб. науч. тр. - Нальчик, 1990. - С. 116-132.
17. Темботова, Э.Ж. Адаптивные особенности системы крови мелких млекопитающих при загрязнении экосистем промышленными отходами / Э.Ж. Темботова, З.А.Б ерсекова, Н.С. Колган, А.Х. Чапаев // Региональная конференция «Биологическое разнообразие Кавказа». - Сухум, 2002. - С. 254-260.
18. Темботова, Э.Ж. Малая лесная мышь в техногенных и природных условиях на Центральном Кавказе / Э.Ж. Темботова, З.А. Берсекова, М.М. Емкужева // Проблемы экологии горных территорий. - Нальчик, 2004. - С. 133-141.
19. Амшокова, А.Х. Фенетический анализ черепа малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis* Pall.) в зоне влияния Тырнаузкого вольфрамо-молибденового комбината / А.Х. Амшокова // Материалы международной конференции: Млекопитающие горных территорий. - Москва, 2005. - С.8-14.
20. Амшокова А.Х. Изменчивость неметрических признаков черепа малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis* Pall.) в условиях техногенного загрязнения на Центральном Кавказе / А.Х. Амшокова // Млеко-

- питающие горных территорий: Матер. междунар. конф. - М.: КМК, 2007. - С. 18-24.
21. Темботова, Ф.А. Половозрастная изменчивость краниометрических признаков малой лесной мыши *Sylvaemus uralensis* Pall. (Muridae, Rodentia) в природных и техногенных условиях на Центральном Кавказе / Темботова Ф.А., Амшокова А.Х. // Млекопитающие горных территорий. Материал. Междунар. конф. - М.: Изд-во КМК, 2007. - С. 308-314.
 22. Кононенко, Е.П. Зоологический контроль природной среды на примере национального парка «Приэльбрусье» / Е.П. Кононенко, Ф.А. Темботова // Тез. докл. междунар. конф. «Экологические проблемы горных территорий». - Владикавказ, 1992. - С. 369.
 23. Васильев, А.Г. Феногенетическая изменчивость и методы ее изучения / А.Г. Васильев, И.А. Васильева, В.Н. Большаков - Издательство Уральского университета. Екатеринбург, 2007. - 279 с.
 24. Балакирев, А.Е. К вопросу о таксономическом статусе формы *ciscaucasicus* и ее родственных отношениях с малой лесной мышью *Sylvaemus uralensis* по данным секвенирования гена цитохрома b мт ДНК / А.Е. Балакирев, Баскевич М.И., А.П. Гмыль, Н.М. Окулова, Т.А. Андреева, О.В. Соколенко, В.М. Мальгин, Л.А. Хляп, М.Л. Опарин, В.Н. Орлов // Генетика. - 2007. - Т. 43, №12. - С. 1651-1666.
 25. Hall, T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT / T.A. Hall // Nucl. Acids. SympSer. 1999. - V. 41. - P. 95-98.
 26. Tamura K. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0 / K. Tamura, J. Dudley, M. Nei, S. Kumar // Molecular Biology and Evolution, 24. 2007. - P. 1596-1599.
 27. Kimura, M. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitution through comparative studies of nucleotide sequences / M. Kimura // J. Mol. Evol. 16. 1980. - P. 111-120.
 28. Воронцов, Н.Н. К систематике лесных мышей Кавказа / Н.Н. Воронцов, С.В. Межжерин, Е.А. Ляпунова, М.Р. Ахвердян, Г.Г. Боескоров // Грызуны. Тез. докл. 7 Всес. совещ. - Свердловск, 1988. - С. 65-67.
 29. Воронцов, Н.Н. Генетическая дифференциация видов двойников лесных мышей (*Apodemus*) Кавказа и их диагностика / Н.Н. Воронцов, С.В. Межжерин, Г.Г. Боескоров, Е.А. Ляпунова // Докл. АН СССР. - 1989. - Т. 309, № 5. - С. 1234-1238.
 30. Богданов, А.С. Хромосомная дифференциация популяций малой лесной мыши *Sylvaemus uralensis*, в восточной части ареала вида / А.С. Богданов // Зоол. журн. - 2001. - Т. 80, № 3. - С. 331-342.
 31. Богданов, А.С. Аллозимная изменчивость малой лесной мыши *Sylvaemus uralensis* (Rodentia, Muridae) и оценка уровня дивергенции хромосомных форм этого вида / А.С. Богданов // Генетика. - 2004. Т. 40, № 8. - С. 1099-1112.
 32. Богданов, А.С. Анализ генетической изменчивости и дифференциации малой лесной мыши *Sylvaemus uralensis* (Rodentia, Muridae) методом RAPD-PCR / А.С. Богданов, Д.М. Атопкин, Г.Н. Челомина // Известия РАН. Серия биол., 2009. - №3. - С. 276-292.
 33. Баскевич, М.И. Генетические подходы к изучению родентофауны (Rodentia, Mammalia) Кавказа. Итоги и перспективы применения / М.И. Баскевич // Биологическое разнообразие Кавказа. Труды II региональной конференции. - Сухум, 2002. - С.73-88.
 34. Баскевич, М.И. Сравнительный анализ сперматозоидов шести видов мышей рода *Apodemus* (Rodentia, Muridae) из Восточной Европы и Закавказья / М.И. Баскевич, С.Г. Потапов, Н.М. Окулова, А.Е. Балакирев, Т.П. Крапивко, С.Ф. Сапельников // Зоол. журн., 2004. - Т. 83, № 6. - С. 725-732.
 35. Васильев, А.Г. Пакет прикладных программ PHEN 3.0. [Электронный ресурс] / А.Г. Васильев // - Режим доступа: (<http://www.ipae.uran.ru/lab106>).
 36. Васильев, А.Г. Популяционно-феногенетический мониторинг млекопитающих Урала / А.Г. Васильев // Млекопитающие горных территорий: Матер. междунар. конф. - М.: КМК. 2007. - С. 61-66.

ON THE METHODS OF ELABORATING FUNDAMENTALS OF ENVIRONMENTAL QUALITY MONITORING BASED ON THE ASSESSMENT OF DEVELOPMENT STABILITY IN SMALL MAMMALS

© 2015 F.A. Tembotova, E.P. Kononenko, A.Kh. Amshokova

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories
of Kabardino-Balkarian Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Nalchik

The initial results obtained in comparison of natural and anthropogenic genetic identified animal samples by the fluctuating asymmetry index using the methods of Zakharov V.M. and Vasil'ev A.G., differ substantially. The calculation method of individual and group variances of general asymmetry and its components introduced by Vasil'ev A.G., is the most responsive, this allowing to get objective estimations. The possibility to use sex dimorphism variation for the assessment of the stress level in the populations of small mammals, is proved.
Keywords: Central Caucasus (north macroslope), mammals, rodents, common field mice *Apodemus*, genetic

Tembotova Fatimat Aslanbievna, Corresponding member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Biology, Chief Scientist. E-mail: iemt@mail.ru

Amshokova Albina Khasmanovna, Candidate of Biology, Senior Scientist. E-mail: iemt@mail.ru

Kononenko Ekaterina Pavlovna, Candidate of Biology, Head of the Laboratory for Ecology and Evolution of Vertebrates. E-mail: iemt@mail.ru