

© Коллектив авторов, 2018
УДК 591.159:591.33

Т. Р. Тухбатуллина¹, Е. А. Кизилова^{2, 4}, В. Л. Вершинин^{1, 3}, О. В. Толкачев³,
Н. Ф. Черноусова³

ОЦЕНКА ВСТРЕЧАЕМОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ У ЭМБРИОНОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ г. ЕКАТЕРИНБУРГА

¹ Кафедра биоразнообразия и биоэкологии (зав. — проф. В. А. Мухин), Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; ² лаборатория генетики развития (зав. — канд. биол. наук Н. Р. Баттулин), Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск; ³ лаборатория функциональной экологии наземных животных (зав. — проф. В. Л. Вершинин), Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург; ⁴ кафедра цитологии и генетики (зав. — проф. Н. Б. Рубцов), Новосибирский государственный университет

Цель — оценка морфологических показателей репродуктивной системы самок, а также эмбрионов несинантропных видов мелких млекопитающих (Rodentia, Insectivora), обитающих на урбанизированной территории (г. Екатеринбург), выявление возможных аномалий и патологий развития.

Материал и методы. Изучено 526 эмбрионов от 83 беременных самок. Методы: при оценке состояния эмбрионов использовали морфологический анализ, при статистической обработке — χ^2 с поправкой Йетса, кластерный анализ (эвклидовы расстояния, метод полной связи), модифицированный индекс Мориситы, дисперсионного анализа (Post Hoc-тест).

Результаты. В ходе исследования выявлено 20 вариантов аномалий эмбрионов, а также их сочетаний с частотой 15,38–45,33%.

Выводы. Высокая плотность эмбрионов в рогах матки может способствовать деформации плаценты, нарушению питания эмбрионов и повышению вероятности эмбриональных аномалий. Сравнение степени перекрытия спектров аномалий не выявило их таксонспецифичности. Вероятно, степень асимметрии расположения эмбрионов в рогах матки может быть показателем стабильности онтогенеза в условиях антропогенной трансформации среды.

Ключевые слова: эмбриогенез, аномалии, репродуктивная система самок, урбанизированная среда

В последние десятилетия отмечается ухудшение экологической обстановки, которое связано с экстенсивным развитием урбанизированных ландшафтов, сочетающееся с ростом индустриального производства, транспортной нагрузки, в первую очередь на территориях крупных мегаполисов, одним из которых является г. Екатеринбург.

Один из важнейших вопросов, связанных с негативным влиянием урбанизации на биоту, — проблема нормального воспроизводства популяций в антропогенно-трансформированной среде [3]. Репродуктивная биология позвоночных, населяющих урбоценозы, представляет несомненный интерес с точки зрения анализа адаптивного потенциала популяций

в новых условиях среды, оценки жизнеспособности потомства и фертильности самок.

Мелкие млекопитающие — распространенный объект экологического мониторинга, который играет огромную роль в экосистемах, обладает высокой чувствительностью и быстрым ответом к воздействиям окружающей среды [5, 7, 8, 10–12, 15–17].

Увеличение доли урбанизированных территорий в настоящее время становится одним из ключевых факторов, ведущих к нарушениям репродуктивной функции самок и эмбриогенеза [15, 16].

Целью исследования был анализ анатомо-морфологических особенностей репродуктивной системы самок, а также эмбриональных отклонений потомства, несинантропных мел-

Сведения об авторах:

Тухбатуллина Татьяна Робертовна (e-mail: ttukhbatullina@gmail.com), Вершинин Владимир Леонидович (e-mail: vol_de_mar@list.ru), кафедра биоразнообразия и биоэкологии, Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Кизилова Елена Александровна (e-mail: pinus@bionet.nsc.ru), лаборатория генетики развития, Институт цитологии и генетики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 10; кафедра цитологии и генетики, Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Черноусова Нина Федоровна (e-mail: nfcher@gmail.com), Толкачев Олег Владимирович (e-mail: olt@mail.ru), лаборатория функциональной экологии наземных животных, Институт экологии растений и животных УрО РАН, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

ких млекопитающих (Rodentia, Insectivora), обитающих в одном из лесопарков городской агломерации г. Екатеринбурга. В настоящей публикации представлены данные, собранные в один полевой сезон и только для части видов, населяющих исследуемый регион.

Материал и методы. Мелкие млекопитающие отловлены в летний период 2016 г. в лесопарках г. Екатеринбурга с использованием стандартного зоологического метода ловушка-линий [19]. Видовая принадлежность животных определена по ключевым фенотипическим признакам [6]. Захоронение трупного материала произведено в соответствии с Федеральным законом от 12.01.1996 г. № 8-ФЗ «О погребении и похоронном деле» [18]. Манипуляции с животными и биологическим материалом, полученным от животных, проходили согласно международным нормам биоэтики (протокол БЭК СО РАН № 35 от 26.10.2016 г., г. Новосибирск).

Исследование выполнено на беременных самках мелких млекопитающих 5 родов 7 видов: *Sorex araneus* Linnaeus, 1758; *Apodemus agrarius* Pallas, 1771; *Sylvaemus uralensis* Pallas 1811; *Microtus sp.* Schrank, 1798; *Myodes glareolus* Schreber, 1780; *Myodes rutilus* Pallas, 1779; *Mus musculus* Linnaeus, 1758; *Sicista betulina* Gray, 1827. Всего изучено 526 эмбрионов от 83 беременных самок (6 особей *A. agrarius*, 20 особей *M. glareolus*, 30 особей *Microtus sp.*, 2 особи *Mus musculus*, 15 особей *S. uralensis*, 4 особи *S. araneus* и 11 особей *M. rutilus*). Кроме того, обследованы репродуктивные тракты от 11 небеременных *S. betulina*, так как вид является редким для исследуемой территории.

Примененный в данном исследовании морфологический анализ неоднократно использовался для оценки влияния антропогенных факторов на репродуктивную систему [8–10, 12, 13]. У самок полностью извлекали и исследовали репродуктивный тракт (яичники, яйцеводы, матку, часть влагалища) с последующей фиксацией в 7% растворе формалина. Камеральную обработку и документацию производили на базе ЦКП МАБО ИЦиГ СО РАН <http://www.bionet.nsc.ru/microscopy/index.html>. Состояние репродуктивного тракта оценивали на основании ряда морфологических особенностей: по числу желтых и белых тел в каждом из яичников, числу прошлых и настоящих мест имплантации, числу эмбрионов в правом и левом рогах матки. Степень асимметрии рассчитывали путем деления меньшего числа эмбрионов — *b* в одном из рогов матки на большее — *a*, различие в числе эмбрионов — *i* определяли как разность между 1 и частным от деления, умноженным на 100% [$i=(1-b/a) \times 100$] [2]. При описании эмбрионов учитывали стадию развития и наличие девиантных форм [1, 20]. Значимые различия по доле аномальных эмбрионов рассчитывали при помощи χ^2 с поправкой Йетса. Дистанционированность спектров аномалий оценивали с помощью кластерного анализа (эвклидовы расстояния, метод полной связи). Перекрытие спектров рассчитывали на основе модифицированного индекса Мориситы [21]:

$$C_m = 2 \sum x_i y_i / \sum x_i^2 + \sum y_i^2,$$

где x_i, y_i — часть *i*-го варианта аномалий в спектрах выборок *x* и *y*.

Средняя плодовитость приведена по результатам дисперсионного анализа (Post Hoc-тест). Статистическая обработка результатов выполнена с использованием пакетов MS Excel, StatSoft inc. Statistica 8.0.

Результаты исследования. Наибольшее количество эмбрионов в матке отмечено у *A. agrarius* и *S. araneus* (8 и 7,5 соответственно). Причем *A. agrarius* по плодовитости значимо отличается от *M. glareolus*, *M. rutilus*, *Microtus sp.* и *S. uralensis* ($p=0,02-0,002$; Post Hoc-тест), в то время как *S. araneus* значимо отличается по данному показателю от *M. glareolus* и *Microtus sp.* ($p=0,03$ и $0,002$ соответственно). Наименьшее количество эмбрионов — у *Microtus sp.* и *M. glareolus*. У остальных видов количество эмбрионов в 1-й матке флуктуирует около 6–6,5 (табл. 1, 2).

Число эмбрионов в правом и левом рогах матки в большинстве случаев совпадало или было близким. Если наблюдался дисбаланс, его выраженность обычно была небольшой 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4. Однако в ряде случаев он выражен достаточно отчетливо: у *Microtus sp.* — 1 и 6, у *M. glareolus* — 0 и 6, у *A. agrarius* — 2 и 7 (см. табл. 1; рис. 1, а, б).

Среди репродуктивных трактов небеременных *S. betulina* 4 принадлежали ювенильным самкам, у одной из которых обнаружена бифуркация правого рога матки (см. рис. 1, в).

Резорбция встречается у *Microtus sp.* и *M. glareolus* (около 15%). У *A. agrarius* и *S. araneus* резорбция соответствует показателям у самок с аномальными эмбрионами, у остальных видов резорбция не обнаружена (см. табл. 1). Резорбция встречалась как в единичных случаях, среди развивающихся эмбрионов, так и массово, когда резорбированными оказывались все зародышевые камеры в матке или почти все (продолжали развиваться 1 или 2 эмбриона) (рис. 2).

Анализ собранных эмбрионов показал, что из всех рассматриваемых видов наибольшее число аномальных эмбрионов встречается у представителей *Microtus sp.* (51,72% самок с аномалиями эмбрионов, встречаемость аномальных эмбрионов — 45,33% от общего количества эмбрионов), *M. rutilus* (45,45% самок с аномальными эмбрионами, доля эмбрионов с отклонениями — 28,99%) (см. табл. 1).

В результате исследования выявлено 20 вариантов эмбриональных аномалий (табл. 3). Чаще встречаются сочетанные аномалии, когда одна особь несет более одного отклонения. По нашим данным, число вариантов сочетанных аномалий у большинства исследуемых животных гораздо больше количества разновидностей одиночных аномалий. Суммарное число одиночных и сочетанных аномалий одинаково у *A. agrarius* и *S. araneus*, одиночных аномалий больше, чем сочетанных у *Microtus sp.*, а у остальных количество сочетанных аномалий, в целом, превалирует

Таблица 1

Особенности репродуктивной системы самок

| Вид | Доля самок с аномальными эмбрионами от общего числа самок, % | Доля самок с резорбцией от общего числа самок, % | Доля аномальных эмбрионов от общего числа эмбрионов, % | Среднее количество эмбрионов на самку, F (6, 80)=4,88, p=0,00027 | Различие в числе эмбрионов в рогах матки (в % от общего числа эмбрионов) |
|---------------------|--|--|--|--|--|
| <i>S. araneus</i> | 25 (n=4) | 25 (n=4) | 26,67 (n=30) | 7,5±0,7 (n=4) | 23,53 (n=30) |
| <i>S. uralensis</i> | 33,33 (n=15) | — (n=15) | 23,71 (n=97) | 6,5±0,4 (n=15) | 35,59 (n=97) |
| <i>M. musculus</i> | 50 (n=2) | — (n=2) | 15,38 (n=13) | 6,5±0,9 (n=2) | 55,56 (n=13) |
| <i>Microtus sp.</i> | 51,72 (n=29) | 13,79 (n=29) | 45,33 (n=150) | 5,2±0,3 (n=29) | 50 (n=150) |
| <i>M. rutilus</i> | 45,45 (n=11) | — (n=11) | 28,99 (n=69) | 6,3±0,4 (n=11) | 46,67 (n=69) |
| <i>M. glareolus</i> | 35 (n=20) | 15 (n=20) | 21,84 (n=119) | 5,95±0,3 (n=20) | 60 (n=119) |
| <i>A. agrarius</i> | 33,33 (n=6) | 33,33 (n=6) | 29,17 (n=48) | 8,0±0,57 (n=6) | 34,48 (n=48) |

Таблица 2

Значимые различия по доле аномальных эмбрионов (χ^2 с поправкой Йетса)

| Вид | <i>S. araneus</i> | <i>S. uralensis</i> | <i>M. musculus</i> | <i>Microtus sp.</i> | <i>M. rutilus</i> | <i>M. glareolus</i> | <i>A. agrarius</i> |
|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| <i>S. araneus</i> | ////////// | p=0,9 | p=0,7 | p=0,09 | p=0,99 | p=0,8 | p=0,98 |
| <i>S. uralensis</i> | $\chi^2=0,01$ | ////////// | p=0,7 | p=0,001 | p=0,56 | p=0,9 | p=0,6 |
| <i>M. musculus</i> | $\chi^2=0,2$ | $\chi^2=0,1$ | ////////// | p=0,07 | p=0,5 | p=0,9 | p=0,5 |
| <i>Microtus sp.</i> | $\chi^2=2,85$ | $\chi^2=10,92$ | $\chi^2=3,24$ | ////////// | p=0,03 | p=0,0001 | p=0,07 |
| <i>M. rutilus</i> | $\chi^2=0,00$ | $\chi^2=0,3$ | $\chi^2=0,45$ | $\chi^2=4,60$ | ////////// | p=0,4 | p=0,85 |
| <i>M. glareolus</i> | $\chi^2=0,10$ | $\chi^2=0,03$ | $\chi^2=0,03$ | $\chi^2=15,08$ | $\chi^2=0,85$ | ////////// | p=0,4 |
| <i>A. agrarius</i> | $\chi^2=0,00$ | $\chi^2=0,26$ | $\chi^2=0,42$ | $\chi^2=3,28$ | $\chi^2=0,03$ | $\chi^2=0,64$ | ////////// |

Примечание. *Microtus sp.* и *S. uralensis* — $\chi^2=10,92$; p=0,001; *Microtus sp.* и *M. rutilus* — $\chi^2=4,60$; p=0,03; *Microtus sp.* и *M. glareolus* — $\chi^2=15,08$; p=0,0001.



Рис. 1. Особенности репродуктивного тракта мелких млекопитающих.

а, б — *M. glareolus* — асимметрия расположения эмбрионов в рогах матки; в — *S. betulina* — бифуркация рога матки

над одиночными. Наиболее частый вариант сочетанности — близнецовость, сопряженная с деформацией плаценты (15,4% — *M. rutilus*), при котором один эмбрион из пары выживает и развивается без аномалий, а у второго диагностирована ретардация (рис. 3, а). Микрофтальмия сочетается с отклонениями в строении конечностей, чаще всего с гетеротопией и аномалиями их дистальных частей: клинодактилия, синдактилия, эктродактилия, в разных сочетаниях (30,8% — *M. rutilus*, 15% — *Microtus sp.* и 18,2% — *M. glareolus*), нейробластома сочетается с клинодактилией (7,7% — *M. rutilus*, 9,1% — *M. glareolus*), гетеротопия сочетается с брахимелией, утолщением конечностей или с аномалиями их дистальных частей либо с теми и другими вариантами одновременно (25% — *Microtus sp.*, 51,1% — *S. uralensis*, 15,4% — *M. rutilus*) (см. рис. 3, б). У *S. araneus* в помете выявлен аномальный эмбрион с брахи-натией и ретардацией развития (рис. 4). В некоторых случаях аномалиям репродуктивной системы самок сопутствуют эмбриональные отклонения. Так, у *Microtus sp.* 50% таких отклонений представлены удвоением яичника, сочетающимся с расщеплением глазного бокала, микрофтальмией и гиперморфозом шейного отдела. В других



Рис. 2. Частичная резорбция.

S. uralensis — развивается только один эмбрион, остальные — резорбированы

Таблица 3

Встречаемость вариантов эмбриональных аномалий (доля от общего количества эмбрионов каждого вида, %)

| Аномалия | 1 (n=30) | 2 (n=97) | 3 (n=13) | 4 (n=150) | 5 (n=69) | 6 (n=119) | 7 (n=48) |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Ретардация | 3,33 | 2,06 | 0 | 1,33 | 1,45 | 0,84 | 0 |
| Близнецовость | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,45 | 0 | 0 |
| Асимметрия тела | 0 | 1,03 | 0 | 2,00 | 0 | 0 | 0 |
| Акромегалия | 0 | 0 | 0 | 1,33 | 0 | 0 | 0 |
| Незаращение нейропора | 0 | 0 | 0 | 0,67 | 0 | 0 | 0 |
| Нейробластома | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,45 | 0,84 | 0 |
| Дисморфия черепа | 3,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,33 |
| Расщепление глазного бокала | 0 | 0 | 0 | 0,67 | 0 | 0 | 0 |
| Микрофтальмия | 0 | 0 | 0 | 2,67 | 5,80 | 1,68 | 0 |
| Деформация плаценты | 0 | 1,03 | 7,69 | 16,00 | 4,35 | 0,84 | 0 |
| Пуповинная перетяжка | 3,33 | 1,03 | 0 | 2,00 | 0 | 0,84 | 0 |
| Расщепление пуповины | 0 | 0 | 0 | 0,67 | 0 | 0 | 0 |
| Несращение брюшинного шва | 0 | 0 | 0 | 2,00 | 0 | 0 | 2,08 |
| Незаращение атриопора | 0 | 0 | 0 | 0,67 | 0 | 0 | 0 |
| Гетеротопия | 6,67 | 4,12 | | 5,33 | 2,90 | 1,68 | 0 |
| Эктромелия | 40,00 | 11,34 | 15,38 | 4,67 | 26,09 | 11,76 | 0 |
| Утолщение конечностей | 10,00 | 5,15 | 0 | 7,33 | 7,25 | 1,68 | 0 |
| Эктродактилия | 0 | 3,09 | 0 | 6,67 | 11,59 | 5,04 | 0 |
| Клинодактилия | 6,67 | 1,03 | 15,38 | 6,00 | 8,70 | 7,56 | 0 |
| Синдактилия | 0 | 5,15 | 0 | 2,67 | 1,45 | 0,84 | 0 |

Примечание. 1 — *S. araneus*; 2 — *S. uralensis*; 3 — *M. musculus*; 4 — *Microtus sp.*; 5 — *M. rutilus*; 6 — *M. glareolus*; 7 — *A. agrarius*.



Рис. 3. Эмбрионы *M. rutilus* (а) и *M. glareolus* (б).

а — весь помет (в нижнем ряду — близнецы, у одного из которых наблюдаются ретардация и аномалии); б — *M. glareolus*: справа — нормально развитый эмбрион, слева — гетеротопия левой нижней конечности и клинодактилия

50 % случаев лопастное удвоение яичника сочетается с ретардацией развития одного из эмбрионов. Среди одиночных аномалий наиболее часто встречается деформация плаценты.



Рис. 4. Эмбрионы *S. araneus*.

а — весь помет; б — аномальный эмбрион: ретардация развития и брахигнатия

Оценка дистанционности спектров аномалий с помощью кластерного анализа показала, что *A. agrarius* по вариантам отклонений и их встречаемости заметно отличается от всех остальных

видов, распадающихся на два кластера (рис. 5). Расчет перекрытия рассматриваемых спектров отклонений эмбрионального развития мелких млекопитающих по индексу Мориситы (табл. 4) показал, что наибольшее сходство отмечено у представителей рода *Myodes* — *M. rutilus* и *M. glareolus*.

Обсуждение полученных данных. Результатом высокой плотности расположения эмбрионов в рогах матки могут быть деформация плаценты, нарушение питания эмбрионов и, как следствие, формирование аномалий развития. Асимметрия положения эмбрионов, связанная с негативным влиянием окружающей среды на стабильность онтогенеза, одна из причин повышения их плотности [14].

Известно, что у ряда видов грызунов резорбция не отмечается [16]. Можно полагать, что между числом эмбрионов и уровнем резорбции существует взаимосвязь, которая проявляется в том, что: 1) большое количество мест имплантации в матке определяет высокие частоты резорбции аномально развивающихся эмбрионов; 2) среднее число мест имплантации в матке обуславливает низкий уровень резорбции или ее отсутствие; 3) низкая частота резорбции или ее отсутствие способствуют росту доли развивающихся аномально эмбрионов.

Аномалии эмбрионов можно условно разделить на две группы. В первую включены отклонения, которые могут повлиять на жизнеспособность носителя, но не ведут напрямую к летальному исходу. Это — гетеротопии, укорочение, утолщение конечностей, эктродактилия, клинодактилия, мягкотканая синдактилия, деформация плаценты, близнецовость, микрофтальмия, ретардация развития на одну стадию. Во вторую группу включены потенциально летальные аномалии, которые представляют собой серьезные пороки развития, неизбежно ведущие к гибели плода в постнатальный период. Это — акромегалия, дисморфия черепа, расщепление глазного бокала, нейробластома, незаращение брюшины, несра-

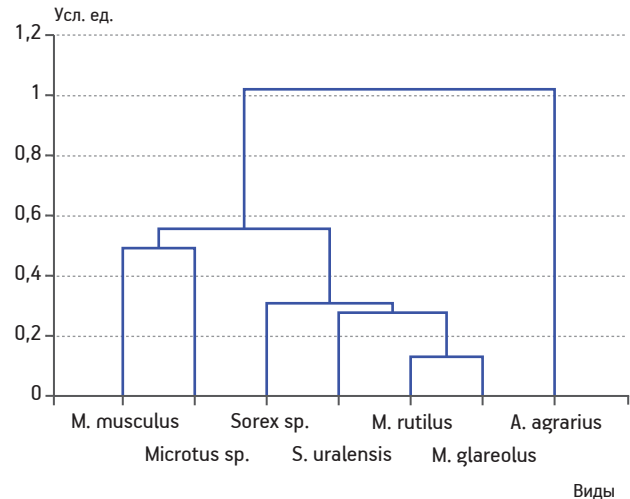


Рис. 5. Дистанцированность спектров девиантных форм эмбрионов у исследуемых видов

стание нейропора или/и атриопора, расщепление пуповины, обвитие пуповиной. Сочетания некоторых аномалий могут свидетельствовать о наличии синдромности, равно как и быть результатом независимого одновременного проявления, и не позволяют судить о наличии взаимосвязи между отклонениями самки и ее потомством — данный вопрос требует дальнейших исследований.

Среди одиночных аномалий наиболее часто отмечается деформация плаценты, что может быть связано с высокой плотностью расположения эмбрионов в рогах матки, в частности, при асимметричном расположении эмбрионов, укорочение конечностей (у *M. rutilus* и *M. glareolus*), клинодактилия (у *Microtus sp.*, *M. rutilus* и *M. glareolus*) и ретардация развития части эмбрионов (у *S. araneus*, *Microtus sp.*, *M. rutilus* и *M. glareolus*), распределяющихся мозаично.

Отличие вариантов отклонений и их встречаемости у *A. agrarius* от остальных видов можно объяснять их видоспецифичностью. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения, поскольку численность данного вида на исследуемой территории невысока.

Таблица 4

Перекрытие спектров аномалий по индексу Мориситы

| Вид | <i>S. araneus</i> | <i>S. uralensis</i> | <i>M. musculus</i> | <i>Microtus sp.</i> | <i>M. rutilus</i> | <i>M. glareolus</i> | <i>A. agrarius</i> |
|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| <i>S. araneus</i> | ////////// | | | | | | |
| <i>S. uralensis</i> | 0,83 | ////////// | | | | | |
| <i>M. musculus</i> | 0,73 | 0,55 | ////////// | | | | |
| <i>Microtus sp.</i> | 0,33 | 0,54 | 0,50 | ////////// | | | |
| <i>M. rutilus</i> | 0,85 | 0,86 | 0,74 | 0,58 | ////////// | | |
| <i>M. glareolus</i> | 0,80 | 0,71 | 0,83 | 0,52 | 0,96 | ////////// | |
| <i>A. agrarius</i> | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | ////////// |

В целом, отмечается сравнительно высокое сходство спектров аномалий, которые, судя по полученным на данный момент результатам, не имеют видоспецифического или таксоноспецифического характера.

Представленные результаты являются первыми сведениями по эмбриональным аномалиям в природных популяциях мелких млекопитающих урбанизированных территорий, поэтому сравнить полученные частотные данные с другими регионами не представляется возможным.

Таким образом, в ходе исследования было выявлено 20 вариантов аномалий эмбрионального развития, а также ряд вариантов их сочетанности у разных видов. В целом, частота эмбриональных аномалий колеблется в пределах 15–46%. Наибольшая встречаемость эмбриональных отклонений зафиксирована у серых полевков.

У всех изученных видов отмечена асимметрия расположения эмбрионов в рогах матки (различие в числе эмбрионов может достигать 60%), что, как известно, может быть одним из показателей негативного влияния состояния окружающей среды на онтогенез [14].

Наблюдающаяся у части самок резорбция эмбрионов, вероятно, представляет собой основной механизм формирования жизнеспособной новой генерации в условиях урбанизации. Обнаруженная у некоторых видов высокая доля эмбриональных аномальных и нежизнеспособных эмбрионов может быть обусловлена незначительной эмбриональной резорбцией или ее отсутствием.

Исследование поддержано программой 211 Правительства Российской Федерации, соглашение № 02.A03.21.0006.

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования: Т. Р. Т., Е. А. К., В. Л. В.

Сбор и обработка материала: Т. Р. Т., Е. А. К., О. В. Т., Н. Ф. Ч.

Статистическая обработка данных: Т. Р. Т., В. Л. В.

Анализ и интерпретация данных: Т. Р. Т., В. Л. В.

Написание текста: Т. Р. Т.

Авторы сообщают об отсутствии в статье конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Астауров Б.Л., Детлаф Т.А. Проблемы биологии развития: Объекты биологии развития / Под ред. Т.А.Детлаф. М.: Наука, 1975. 579 с. [Astaurov B.L., Detlaf T.A. Problems of Developmental Biology: The Objects of Developmental Biology / ed. by T.A.Detlaf. Moscow: Nauka, 1975. P. 579. In Russ.]
- Басарукин А.М., Боркин Л.Я. Распространение, экология и морфологическая изменчивость сибирского углозуба *Hynobius keyserlingii* на острове Сахалин // Труды Зоол. ин-та АН СССР. 1984. Т. 124. С. 12–54 [Basarukin A.M., Borkin L.Ya. The distribution, ecology and morphological variability of the Siberian Hook-Shooter *Hynobius keyserlingii* on Sakhalin Island // Trudy Zoologicheskogo institutata AN SSSR. 1984. Vol. 124. P. 12–54. In Russ.]
- Вершинин В.Л. Экология города: Учебное пособие. Екатеринбург: изд. Уральск. ун-та, 2014. 88 с. [Vershinin V.L. The ecology of the city. Textbook. Yekaterinburg: izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2014. 88 p. In Russ.]
- Вершинин В.Л. Основы методологии и методы исследования аномалий и патологий амфибий: Учебное пособие. Екатеринбург: изд. Уральск. ун-та, 2015. 80 с. [Vershinin V.L. The basics of methodology and methods of research of anomalies and pathologies of amphibians. Textbook. Yekaterinburg: izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2015. 80 p. In Russ.]
- Вершинин В.Л., Сердюк С.Д., Черноусова Н.Ф. и др. Пути адаптиогенеза наземной фауны к условиям техногенных ландшафтов / Под ред. Л.М.Сюзюмовой. Екатеринбург: УрО РАН, Банк культурной информации, 2006. 183 с. [Vershinin V.L., Serdyuk S.D., Chernousova N.F. et al. Ed. by L.M.Syuzumova Pathways of adaptiogenesis of terrestrial fauna to the conditions of technogenic landscapes under the Ed by L.M.Syuzumova. Yekaterinburg: UrO RAN, Bank kul'turnoi informatsii, 2006. 183 p.]
- Громов И.Л., Ербаева М.Л. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб.: ЗИН РАН, 1995. 522 с. [Gromov I.L., Erbaeva M.L. Mammals of the fauna of Russia and adjacent territories. Lagomorphs and rodents. St Petersburg: ZIN RAN, 1995. 522 p. In Russ.]
- Дмитриев А.И. Мелкие млекопитающие как объекты экологического мониторинга // Проблемы регионального экологического мониторинга. Н.Новгород, 2002. С. 38–40 [Dmitriev A.I. Small mammals as the objects of ecological monitoring // Problemy regional'nogo ekologicheskogo monitoringa. Nizhny Novgorod, 2002. P. 38–40. In Russ.]
- Зеленская Е.С., Кизилова Е.А., Симак Т.Г., Симак С.В. Репродуктивное состояние самок двух видов бурозубок на территории Жигулёвского ГПЗ и НП «Самарская Лука»: Материалы конференции. Киров, 2011. Ч.1. С. 94–97 [Zelenskaya E.S., Kizilova E.A., Simak T.G., Simak S.V. Reproductive condition of females of two species of shrews on the territory of the Zhigulevsk GPP and NP «Samarskaya Luka»: Materialy konferentsii. Kirov, 2011. Ch.1. P. 94–97. In Russ.]
- Исаев С.И., Шилова С.А. Патология размножения мелких млекопитающих как критерий нарушения состояния экосистемы // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1999. С. 36–41 [Isaev S.I., Shilova S.A. Pathology of reproduction of small mammals as a criterion of disturbance of the state of the ecosystem // Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryaznenii. Moscow: Nauka, 1999. P. 36–41. In Russ.]
- Кизилова Е.А., Поварницына П.Ю., Смелянская А.И. и др. Репродуктивное состояние самок трех видов грызунов рода *Apodemus* на территории Жигулевского ГПЗ и НП «Самарская Лука»: Материалы ВНПК. Киров, 2010. Вып. VIII, ч.1. С. 20–24 [Kizilova E.A., Povarnitsyna P.Yu., Smelyanskaya A.I. i dr. The reproductive state of the females of three species of rodents of the genus *Apodemus* in the territory of the Zhigulevsk GPP and NP «Samara Luka»: Materialy VNPk. Kirov, 2010. Vol. 8, № 1. P. 20–24. In Russ.]
- Лукьянова Л.Е., Лукьянов О.А. Реакция сообществ и популяций мелких млекопитающих на техногенное воздействие // Успехи современной биологии. 1998. Т. 118, вып. 6. С. 693–

- 706 [Luk'yanova L. E., Luk'yanov O. A. the reaction of the communities and populations of small mammals to anthropogenic impact // *Uspekhi sovremennoi biologii*. 1998. Vol. 118, № 6. P. 693–706. In Russ.].
12. Поварницына П. Ю., Симак С. В., Симак Т. Г., Кизилова Е. А. Репродуктивное состояние самок *Microtus arvalis*, взятых с территории Жигулевского ГПЗ и НП «Самарская лука»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. С. 139–142 [Povarnitsyna P. Yu., Simak S. V., Simak T. G., Kizilova E. A. The reproductive state of female *Microtus arvalis*, taken from the territory of the Zhigulevsk GPP and NP «Samara Luka»: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Ufa: RITs BashGU, 2010. P. 139–142. In Russ.].
13. Соколов В. Е., Крылова Т. Е., Скурат Л. Н. Эмбриональное развитие грызунов в условиях хронического радиационного воздействия на лесные биогеоценозы // *Биоиндикация радиоактивных загрязнений*. М.: Наука, 1999. С. 123–128 [Sokolov V. E., Krylova T. E., Skurat L. N. Embryonic development of rodents under conditions of chronic radiation impact on forest biogeocenoses // *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryaznenii*. Moscow: Nauka, 1999. P. 123–128. In Russ.].
14. Стариков В. П., Морозкина А. В., Старикова Т. М. Зональное распределение, демографическая структура и особенности размножения красной полевки (*Clethrionomys rutilus*, Pallas, 1779) на урбанизированной территории // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14, № 1 (8). С. 1929–1933 [Starikov V. P., Morozkina A. V., Starikova T. M. Zonal distribution, demographic structure and features of reproduction of the red vole (*Clethrionomys rutilus*, pallas, 1779) in the urbanized territory // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2012. Vol. 14, № 1 (8). P. 1929–1933. In Russ.].
15. Рыскулов М. Ф. Эколого-морфологическая характеристика размножения мелких млекопитающих из популяций, испытывающих воздействие условий урбанизированной среды (на примере г. Оренбурга) // *Альманах молодой науки*. 2015. № 1. С. 9–13 [Ryskulov M. F. Ecological and morphological characteristics of reproduction of small mammals of the populations experiencing the impact of the urbanized environment (on the example of Orenburg) // *Al'manakh molodoi nauki*. 2015. № 1. P. 9–13. In Russ.].
16. Рыскулов М. Ф. Эколого-морфологическая характеристика яичников самок мелких млекопитающих, обитающих в антропогенно трансформированных экосистемах Южного Урала // *Альманах молодой науки*. 2015. № 3. С. 39–43 [Ryskulov M. F. Ecological and morphological characteristics of the ovaries of females of small mammals inhabiting the anthropogenically transformed ecosystems of the southern Urals // *Al'manakh molodoi nauki*. 2015. № 3. P. 39–43. In Russ.].
17. Рыскулов М. Ф. Эколого-морфологическая характеристика органов размножения мелких млекопитающих урбанизированных территорий степной зоны Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Оренбург: Орен-печать, 2016. 26 с. [Ryskulov M. F. Ecological and morphological characteristics of reproductive organs of small mammals in the urbanized territories of the steppe zone of the southern Urals. Abstr. Candidate Biol. Sci. Thesis. Orenburg: Oren-pechat', 2016. 26 p. In Russ.].
18. Федеральный закон от 12.01.1996 г. № 8-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г., с изм. от 19.12.2016 г.) «О погребении и похоронном деле» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017 г.) (ст. 5) [The Federal Law of 12.01.1996 No. 8-FZ (as amended on 03.07.2016, as amended on 19.12.2016) «On Burial and Funeral Affairs» (with amendments and additions, effective from 01.01.2017) (Article 5). In Russ.].
19. Черноусова Н. Ф., Толкач О. В., Добротворская О. Е. Сообщества мелких млекопитающих в урбаногенно-нарушенных лесных экосистемах // *Экология*. 2014. № 6. С. 439–447 [Chernousova N. F., Tolkach O. V., Dobrotvorskaya O. E. Communities of small mammals in urban-disturbed forest ecosystems // *Ecologiya*. 2014. № 6. P. 439–447. In Russ.].
20. Hogan B., Beddington R., Costantini F., Lacy E. Manipulating the Mouse Embryo. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1994. 113 p.
21. Hurlbert S. H. The measurement of niche overlap and some relatives // *Ecology*. 1978. Vol. 59, № 1. P. 67–77.

Поступила в редакцию 02.09.2017
Получена после доработки 28.10.2017

ASSESSMENT OF THE OCCURRENCE OF MORPHOLOGICAL ANOMALIES IN EMBRYOS OF SMALL MAMMALS IN URBANIZED TERRITORIES OF YEKATERINBURG

T. R. Tukhbatullina¹, Ye. A. Kizilova^{2,4},
V. L. Vershinin^{1,3}, O. V. Tolkachyov³,
N. F. Chernousova³

Objective — the preliminary assessment of morphological parameters of reproductive females, as well as embryos of non-synantropic species of small mammals (Insectivora, Rodentia) from the urbanized territory (Yekaterinburg) in order to identify possible anomalies and pathologies of the development.

Materials and methods. Morphological analysis was used to evaluate the state of 526 embryos obtained from 83 pregnant females, while Chi2 with the Yates correction, cluster analysis (Euclidean distances, the full-coupling method), the modified Moricita index, and dispersion analysis (the Post Hoc test) were used for statistical processing.

Results. During the study, 20 variants of embryo abnormalities as well as their combinations were identified, with a frequency of 15.38–45.33%.

Conclusions. ed possible relations (connectivity) of the embryos number in the uterus, frequency of their resorption and share of embryonic abnormalities. The High density of embryos in the uterine horns can contribute to placental deformities, embryo malnutrition and increase the likelihood of embryonic abnormalities. Comparison of the degree of anomaly spectra overlap did not reveal their taxon specificity. We suggest that the degree of asymmetry of the location of the embryos in the uterine horns can serve as an indicator of ontogenesis stability under conditions of anthropogenic environmental transformation.

Key words: *embryogenesis, anomalies, female reproductive system, urbanized environment*

¹ Department of Biodiversity and Bioecology, Ural Federal University, 19 Mira Str., Yekaterinburg 620002; ² Laboratory of Genetics of Development, RAS SB Institute of Cytology and Genetics, 10 Lavrentieva Str., Novosibirsk 630090; ³ Laboratory of Functional Ecology of Terrestrial Animals, RAS Ural Branch Institute of Plant and Animal Ecology, 202 8 Marta Str., Yekaterinburg 620144; ⁴ Department of Cytology and Genetics, Novosibirsk State University, 2 Pirogova Str., Novosibirsk 630090