

© Коллектив авторов, 2013
УДК 611. 63/67+611. 018+591. 143. 8+463. 2. 08

*Н. Н. Шевлюк, Е. В. Блинова, Д. А. Боков, Л. Л. Дёмина, Е. Е. Елина, О. А. Мешкова
и М. Ф. Рыскулов*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНОВ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО УРАЛА

Кафедра гистологии, цитологии и эмбриологии (зав. — проф. А. А. Стадников), Оренбургская государственная медицинская академия; кафедра зоологии, экологии и анатомии (зав. — доц. А. В. Давыгора), Оренбургский государственный педагогический университет

С использованием обзорных гистологических, электронно-микроскопических, иммуноцитохимических и морфометрических методов исследованы органы репродукции различных грызунов: полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), домовая мышь (*Mus musculus* Linnaeus, 1758), малая лесная мышь (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), обыкновенная полёвка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778), рыжая полёвка (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), степная пеструшка (*Lagurus lagurus* Pallas, 1773), малый суслик (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778), большой суслик (*Spermophilus major* Pallas, 1779) из популяций, обитающих в антропогенно изменённых ландшафтах (в зонах влияния предприятия чёрной металлургии и газоперерабатывающего завода, а также на территории крупного города). У исследованных животных, проживающих в техногенно изменённых экосистемах, в отличие от таковых из экологически благополучных районов, в семенниках выявлено возрастание деструкции сперматогенного пласта. В яичниках наблюдалось более быстрое истощение резерва фолликулов. Обнаружена повышенная эмбриональная смертность. Отмечено увеличение доли животных, участвующих в репродукции, возрастание плодовитости самок, снижение возраста полового созревания. Среди исследованных видов животных отмечена разная степень устойчивости к действию негативных факторов.

Ключевые слова: семенник, клетки Лейдига, извитые семенные каналцы, яичник, антропогенные влияния, грызуны

К началу XXI в. только крупных источников промышленного загрязнения на Земле насчитывалось свыше 30 тыс. [5]. Наиболее значительный вклад в загрязнение окружающей среды в Восточном Оренбуржье вносит металлургический комбинат (МК) «Уральская сталь», а в Центральном Оренбуржье — Оренбургский газоперерабатывающий завод (ГПЗ). Основными видами загрязняющих веществ, выбрасываемых МК, являются пыль, окислы серы, азота, углерода, фенол, бензапирен, сероводород, соединения тяжёлых металлов (меди, цинка, кадмия, свинца, никеля, кобальта). Комплекс этих веществ оказывает крайне неблагоприятное действие на различные органы и системы организма человека и животных [3, 7]. Оренбургский ГПЗ загрязняет окружающую среду окислами серы, сажей, окисью углерода, сероводородом [4, 6, 7]. В г. Оренбурге основным фактором, загрязняющим окружающую среду, является автотранспорт.

Несмотря на большое число работ [3, 11–15], посвящённых изучению негативных последствий

антропогенной деятельности, недостаточно изученными остаются вопросы влияния техногенных загрязнений на степные экосистемы [5].

Цель настоящего исследования — сравнительное изучение реактивных и адаптивных морфофункциональных преобразований органов репродуктивной системы мелких млекопитающих в условиях антропогенной трансформации степных экосистем Южного Урала.

Материал и методы. Изучены органы мужской и женской репродуктивных систем (семенник, яичник, матка) половозрелых особей ряда видов грызунов: полевая мышь *Apodemus agrarius* Pallas, 1771; домовая мышь *Mus musculus* Linnaeus, 1758; малая лесная мышь *Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811; обыкновенная полёвка *Microtus arvalis* Pallas, 1778; рыжая полёвка *Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780; степная пеструшка *Lagurus lagurus* Pallas, 1773; малый суслик *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778; большой суслик *Spermophilus major* Pallas, 1779, из популяций, обитающих на территориях, испытывающих влияние антропогенных загрязнений. Исследованы 3 группы таких территорий: 1) в зоне влияния МК «Уральская сталь»; 2) в санитарно-защитной

Сведения об авторах:

Шевлюк Николай Николаевич (e-mail: orgtma@esoo.ru), *Блинова Елена Владиславовна* (e-mail: blinovavera.2010@yandex.ru), *Боков Дмитрий Александрович* (e-mail: cells-tissue.bokov2012@yandex.ru), *Демина Лариса Леонидовна* (e-mail: deminadlora@mail.ru), кафедра гистологии, цитологии и эмбриологии, *Елина Елена Евгеньевна* (e-mail: elinaee@yandex.ru), *Мешкова Олеся Александровна* (e-mail: meschkova.20@yandex.ru), *Рыскулов Марат Фирдатович* (e-mail: ryskulov@yandex.ru), кафедра зоологии, экологии и анатомии, Оренбургская государственная медицинская академия, 460000, Оренбург, ул. Советская, 6

зоне Оренбургского ГПЗ; 3) на территории крупного города (г. Оренбург).

В зоне влияния МК отлов животных осуществляли в 2009–2010 гг. в 3 км к западу (в районе пос. Аккермановка) и на расстоянии 45 км к северо-западу от МК (в районе пос. Новорудный). В санитарно-защитной зоне Оренбургского ГПЗ (ширина зоны — 3–5 км) сбор материала проводили в 1997–2012 гг. В г. Оренбурге отлов животных проводили в 2011–2012 гг. на территории хлебоприёмного пункта, частной жилой застройки, дачных участков в черте города, в парках и скверах. Контролем служили животные тех же видов, отловленные в экологически благополучных экосистемах степной зоны Южного Урала (в окрестностях сёл Донское Беляевского района и Николаевка Саракташского района). Отлов животных на всех перечисленных участках проводили в тёплый период года (апрель–октябрь). Количество исследованных животных из импактных и контрольных территорий указано в *табл. 1*.

Полученный материал фиксировали в 12% водном растворе нейтрального формалина, спирт-формоле, жидкости Буэна. Парафиновые срезы толщиной 5–7 мкм окрашивали гематоксилином Майера — эозином, периодатом калия и реактивом Шиффа по Мак-Манусу. Для электронной микроскопии материал последовательно фиксировали в 2,5% растворе глутаральдегида и 1% растворе четырёхокси осмия, обезвоживали в ацетоне возрастающей концентрации и заливали в эпон-812. Ультратонкие срезы, изготовленные на ультратоме LKB-5 (Bromma, Швеция), подвергали двойному контрастированию растворами уранилацетата и цитрата свинца. Исследование ультратонких срезов и их фотографирование производили в электронном микроскопе ЭМВ 100 АК (Микроскоп, Украина) при увеличениях 4500–40 000.

Иммуноцитохимически в семенниках лесной мыши и рыжей полёвки с помощью набора реактивов (DakoCytomation, США) выявляли содержание проапоптотического белка P53, антиапоптотического белка bcl-2, с использованием набора реактивов (BioVision, США) определяли фрагментацию ДНК (Tunel-метод). Результаты оценивали определяя долю (из 1000 клеток в случайно выбранных полях зрения) клеток, дающих соответствующую иммунопозитивную реакцию.

На светооптическом уровне в семенниках определяли площадь среза, занимаемую извитыми семенными канальцами и интерстициальную тканью, измеряли диаметр извитых семенных канальцев, объёмы интерстициальных эндокриноцитов (ИЭ — клеток Лейдига) и их ядер, подсчитывали количество

их функционально активных форм в популяции, к которым относили клетки, имеющие значительные объёмы ядра и цитоплазмы (не менее $2/3$ от средних показателей).

На срезах яичника определяли площади, занимаемые корковым и мозговым веществом, на условной площади коркового вещества подсчитывали количество фолликулов разной степени зрелости. В матке подсчитывали количество плацентарных пятен.

На не менее 10 электронных микрофотографиях, полученных от 5–10 особей каждого вида животных, исследовали объёмы митохондрий и гладкой эндоплазматической сети. Относительный объём гладкой эндоплазматической сети и митохондрий определяли с использованием точечной сетки (Pt=480), накладываемой на электронные микрофотографии при одинаковом их увеличении. За относительный объём исследуемой ультраструктуры принимали долю попавших на нее точек. Абсолютный объём митохондрий определяли по формуле для вычисления объема шара или эллипса.

Об участии самок в репродукции судили по наличию потомства, по обнаружению эмбрионов и плацентарных пятен в матке, зрелых фолликулов в яичниках. О возможном участии самцов в размножении судили по состоянию сперматогенного пласта в извитых семенных канальцах.

Полученные цифровые данные обрабатывали на компьютере с использованием программы Statistica 6.0 (StatSoft, Inc.). Статистическую значимость результатов оценивали по t-критерию Стьюдента с учётом вариабельности первичных измеряемых объектов и индивидуальной изменчивости [1].

Результаты исследования. В зоне влияния МК на фоне резко сниженной численности популяции грызунов возрастала доля размножающихся животных, приближаясь к 100%. Так, в 3 км от МК в размножении принимали участие 100% особей обоего пола лесной мыши, 94% — полевой мыши, 95% — обыкновенной полёвки, тогда как в экологически благополучных экосистемах доля участвующих в размножении самцов и самок колебалась в пределах 65–80%. Отмечалось и повышение плодовитости. Так, среднее число эмбрионов на размножающуюся самку в 2011 г. для лесной мыши в 3 км от МК составило $7,7 \pm 0,5$. Во все годы наблюдения и для всех исследованных видов в зоне влияния МК и

Таблица 1

Объекты исследования

Исследованные виды	Количество исследованных особей			
	Импактные территории		Экологически благополучные территории	
	Самцы	Самки	Самцы	Самки
Полевая мышь <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771	108	119	73	74
Домовая мышь <i>Mus musculus</i> Linnaeus, 1758	67	70	35	34
Малая лесная мышь <i>Sylvaeus uralensis</i> Pallas, 1811	208	221	116	117
Обыкновенная полёвка <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778	146	168	103	101
Рыжая полёвка <i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber, 1780	127	135	43	45
Степная пеструшка <i>Lagurus lagurus</i> Pallas, 1773	151	168	83	80
Малый суслик <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas, 1778	103	115	45	48
Большой суслик <i>Spermophilus major</i> Pallas, 1779	108	121	39	41

в санитарно-защитной зоне ГПЗ отмечалось численное преобладание самок.

Установлено, что в зоне влияния МК в размножении начинали участвовать особи с меньшей массой, что косвенно указывает на ускоренное их половое созревание. Эта тенденция с разной степенью выраженности проявилась в популяциях всех изученных видов. Так, в июне половозрелые самцы малой лесной мыши из популяций, обитающих вблизи МК, имели массу $21,4 \pm 0,3$ г, в 45 км от МК — $23,0 \pm 0,5$ г, а в экологически благополучном регионе — $25,5 \pm 0,8$ г. Самцы полевой

мыши в этот же период имели массу $22,0 \pm 0,3$, $26,1 \pm 0,5$ и $28,4 \pm 0,7$ г соответственно.

В семенниках грызунов из зоны влияния МК была значительно повышена доля извитых семенных канальцев с повреждениями сперматогенного пласта (табл. 2). Наиболее часто встречающимися нарушениями в сперматогенном эпителии были: деструкция сперматоцитов, сперматид, сперматозоидов, наличие большого числа многоядерных клеток, дезорганизация сперматогенного пласта. Одновременно при этом отмечено возрастание доли соединительной ткани в интерстиции органа. По мере удаления от МК степень выраженности

Таблица 2

Морфофункциональная характеристика семенников и содержание фолликулов в яичниках у половозрелых млекопитающих, обитающих на различных территориях ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Зоны исследования	Виды животных	Количество исследованных самцов	Извитые семенные канальцы		Количество исследованных самок	Количество фолликулов на условной единице площади коркового вещества яичника	
			Доля канальцев с деструкцией сперматогенного пласта, %	Диаметр канальцев, мкм			
Экологически благополучный регион (контроль)	Полевая мышь	22	$2,53 \pm 0,21$	169 ± 4	32	$13,2 \pm 1,0$	
	Малая лесная мышь	38	$3,0 \pm 0,5$	189 ± 4	17	$15,5 \pm 1,2$	
	Домовая мышь	28	$3,0 \pm 0,5$	189 ± 4	—	—	
	Обыкновенная полевка	42	$3,1 \pm 0,4$	161 ± 4	42	$14,1 \pm 0,8$	
	Рыжая полевка	48	$3,41 \pm 0,25$	164 ± 5	—	—	
	Степная пеструшка	45	$3,7 \pm 0,3$	203 ± 8	—	—	
Зона влияния металлургического комбината:	3 км от комбината	Полевая мышь	9	$15,3 \pm 2,1^*$	149 ± 3	15	$15,9 \pm 1,0^*$
		Малая лесная мышь	14	$9,6 \pm 1,2^*$	161 ± 4	12	$8,4 \pm 1,2^*$
		Обыкновенная полевка	9	$12,8 \pm 1,2^*$	146 ± 4	12	$7,6 \pm 1,1^*$
		Степная пеструшка	10	$11,0 \pm 0,4^*$	167 ± 8	—	—
	45 км от комбината	Полевая мышь	21	$4,5 \pm 0,3^*$	155 ± 4	18	$9,9 \pm 0,6^*$
		Малая лесная мышь	16	$5,9 \pm 1,3^*$	179 ± 4	18	$12,4 \pm 1,3^*$
		Обыкновенная полевка	16	$6,9 \pm 0,6^*$	158 ± 4	17	$10,7 \pm 0,5^*$
		Степная пеструшка	15	$6,9 \pm 0,3^*$	183 ± 5	—	—
	Санитарно-защитная зона Оренбургского газоперерабатывающего завода	Полевая мышь	18	$5,3 \pm 0,3^*$	159 ± 4	—	—
		Малая лесная мышь	14	$5,6 \pm 1,2^*$	185 ± 4	—	—
		Обыкновенная полевка	38	$6,3 \pm 0,8^*$	156 ± 5	—	—
		Рыжая полевка	42	$5,3 \pm 0,5^*$	160 ± 5	—	—
Степная пеструшка		32	$5,0 \pm 0,6^*$	175 ± 6	—	—	
Урбанизированные территории (г. Оренбург). Жилые дома и прилегающие территории частного сектора	Полевая мышь	25	$5,3 \pm 0,3^*$	165 ± 3	—	—	
	Домовая мышь	21	$3,7 \pm 0,8^*$	183 ± 4	—	—	
	Обыкновенная полевка	22	$4,2 \pm 0,6^*$	156 ± 4	—	—	
	Степная пеструшка	32	$4,0 \pm 0,4^*$	195 ± 5	—	—	

Примечание. Время отлова всех животных — июнь.

* Различия по сравнению с контролем значимы при $P < 0,05$.

морфологических нарушений в извитых семенных канальцах у животных имела тенденцию к снижению.

Деструктивные изменения в ИЭ были менее выражены, чем в клетках сперматогенного пласта. В популяции ИЭ у животных из техногенно изменённых экосистем большинство составляют клетки средних размеров. Крупные клетки отсутствуют.

Морфофункциональные изменения в гонадах у животных из санитарно-защитной зоны ГПЗ были сходны с таковыми у животных из зоны влияния МК, но деструктивные изменения извитых семенных канальцев семенников при этом были менее выражены (см. табл. 2). Вместе с тем, анализ электронных микрофотографий показал ряд структурных изменений. Так, на фоне увеличения доли повреждённых мембранных органелл ИЭ малого суслика из санитарно-защитной зоны ГПЗ относительный объём гладкой эндоплазматической сети был на 20% снижен по сравнению с таковым у животных из экологически благополучных регионов. Однако объём митохондрий в ИЭ семенников был примерно на 30% выше.

В реактивных и адаптивных реакциях структур органов репродуктивной системы наблюдались и видовые особенности. Так, у лесной мыши активизация секреторной функции ИЭ была наиболее выражена и выявлялась во всем органе вне зависимости от состояния сперматогенного пласта в канальцах, около которых были локализованы ИЭ, что может свидетельствовать об изменении паракринных взаимоотношений эндокринных и герминативных структур.

Иммуноцитохимическое исследование выявило в семенниках у животных, населяющих антропогенно изменённые экосистемы, повышенную численность клеточных элементов, демонстрирующих проявление генетически запрограммированной клеточной гибели. При этом, выраженность реакций на апоптоз в семенниках была выше в сперматогенном пласте, чем в интерстиции органа.

Реакция, выявляющая фрагментацию ДНК, в извитых семенных канальцах рыжей полёвки была наиболее выражена в сперматоцитах. Так, у животных из санитарно-защитной зоны ГПЗ она была почти в 3 раза интенсивнее, чем у животных естественных биоценозов. Значительнее была и реакция на наличие проапоптотического белка p53. У рыжей полёвки из санитарно-защитной зоны положительную реакцию на белок p53 демонстрировали 4,1±0,3% сперматоцитов, тогда как в экологически благополучной экосистеме — только 2,0±0,20%. Выраженность проявлений апоптоза сперматогоний в семенниках животных

из техногенно изменённых экосистем и экологически благополучных регионов практически не различалась. В популяции ИЭ у рыжей полёвки из зоны влияния ГПЗ доля клеток, демонстрирующих экспрессию p53, была равна 0,45±0,10%, а у животных из благополучных экосистем — 0,23±0,10%.

В городских рекреационных зонах (скверы, парки) в г. Оренбурге численность грызунов была низкая, а в жилых домах частного сектора, прилегающих к ним территориях, на дачных участках, а также на предприятиях по хранению и переработке зерна — значительная. Доминантным видом на всех этих территориях являлась домовая мышь.

Морфофункциональные характеристики половых желез животных, отловленных на территории города, существенно различались, однако свидетельствовали об удовлетворительном состоянии репродуктивной активности этих животных, особенно у животных, отловленных в жилом частном секторе (см. табл. 2).

На фоне сниженной численности животных у самок, участвующих в репродукции, всех исследованных видов из зоны воздействия МК и ГПЗ отмечено снижение массы тела и яичников. Так, масса тела самок полевой мыши в зонах влияния комбината колебалась в пределах 18–27 г, а в экологически благополучных экосистемах — 21–32 г. Масса яичников этих животных была равна 20,1±1,2 и 26,0±1,5 мг соответственно.

В яичниках у половозрелых самок деструктивные изменения были выражены значительно, чем в семенниках у самцов. Наиболее характерным морфологическим отличием самок из этих экосистем было сниженное количество фолликулов в корковом веществе (см. табл. 2). Эта тенденция проявлялась у всех исследованных видов, причём, с разной степенью выраженности. Так, менее значительно процессы истощения резерва фолликулов в яичнике наблюдались у самок малой лесной мыши.

Обсуждение полученных данных. Непосредственными причинами негативных антропогенных влияний могут быть как возрастание концентрации токсических веществ в атмосфере, почве, воде (прямой вред), так и изменение под влиянием этих веществ структуры экосистем (косвенный вред). При этом, косвенный вред чаще всего значительно превышает прямой. Чрезвычайно важное значение имеет изучение угрозы отдалённых последствий, прежде всего, на клеточном и молекулярно-генетическом уровнях [5].

Наиболее уязвимыми являются герминативные структуры гонад. Выявленные изменения

в органах репродуктивной системы у мелких млекопитающих имеют градиентный характер. Наиболее значительно деструктивные морфофункциональные изменения проявляются в гонадах у животных из экосистем, расположенных вблизи источника техногенного загрязнения. С удалением от этого источника концентрация и время действия выбросов снижаются, что проявляется меньшим повреждением эндокринных и герминативных структур гонад. Однако и в этих условиях структурно-функциональные параметры организма в целом и гонад, в частности, сходны с таковыми у животных, испытывающих длительное действие стрессорных факторов [8, 14].

Быстрое истощение резерва фолликулов отражает интенсификацию репродуктивной активности. Однако, более быстрая элиминация половых клеток из яичника может быть истолкована и как защита генофонда популяции от возникших мутаций. Ранее нами отмечена подобная картина более быстрого истощения резерва фолликулов в условиях действия неблагоприятных факторов на самок ряда других видов млекопитающих [9].

Полученные результаты подтверждают ранее высказанное положение о том, что в процессе эволюции у млекопитающих выработался комплекс адаптивных приспособлений, позволяющих им поддерживать относительно высокую численность даже в условиях резкого ухудшения условий среды обитания [9–12]. К числу наиболее важных адаптаций относятся следующие приспособления.

1. Возрастание доли размножающихся самцов и самок в популяциях, в условиях усиления негативных влияний на среду обитания и компенсация этим повышенной (как эмбриональной, так и постнатальной) смертности. Следует также иметь в виду, что в условиях экстремальных негативных воздействий, если они превышают возможности биологической адаптации вида, то доля размножающихся животных снижается [11–13].

2. Вступление в репродукцию более молодых особей, т. е. снижение возраста половой зрелости. Подобные феномены описаны и для других видов позвоночных. Так, много лет назад был описан феномен карликовых размножающихся форм у атлантического лосося [2].

3. Снижение морфологического биоразнообразия (адаптация по конкретным признакам). Так, например, мы отметили усреднение размеров ИЭ у животных в зоне влияния МК. Вероятно, здесь либо происходит гибель крупных эндокриноцитов, либо их перестройка, приводящая к некоторому уменьшению средних размеров клеток и их ядер.

4. Синантропизация — большая часть популяции мелких млекопитающих в городах сосредоточена в жилых и складских помещениях.

Отмеченные морфофункциональные преобразования, безусловно, относятся к видовым адаптациям. Если в условиях благоприятных для процветания вида эти факторы являются малозначимыми, то при действии экстремальных дестабилизирующих факторов эти изменения способствуют выживанию вида в каждом конкретном условиях.

В связи с полученными данными очевиден факт большей устойчивости ряда видов к негативным антропогенным влияниям. К таким видам относятся рыжая полёвка, малая лесная мышь, домовая и полевая мыши. Широкая экологическая адаптивность этих видов позволяет им успешно размножаться и поддерживать относительно высокую численность популяций в условиях длительного (многолетнего) ухудшения условий среды обитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия: Руководство. М., Медицина, 1990.
2. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. 4-е издание, исправл. и дополн. Ч. 1–3. М., Л., 1948–1949.
3. Боев В. М. и Воляник М. Н. Антропогенное загрязнение окружающей среды и состояние здоровья населения Восточного Оренбуржья. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 1995.
4. Боев В. М. и Сетко Н. П. Сернистые соединения природного газа и их действие на организм. М., Медицина, 2001.
5. Воробейчик Е. Л. и Козлов М. В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространённые ошибки. Экология, 2012, № 2, с. 83–91.
6. Иванов С. И., Тиньков А. Н., Быстрых В. В. и др. Экологическая безопасность и здоровье населения в зоне влияния крупного газохимического комплекса. М., Медицина, 2007.
7. Сетко Н. П., Стадников А. А. и Фатеева Т. А. Особенности биологического действия сернистых соединений на женский организм. М., Медицина, 2007.
8. Стадников А. А. и Шевлюк Н. Н. Морфофункциональная характеристика гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы крыс-самцов в условиях эмоционально-болевого стресса. Морфология, 1996, т. 110, вып. 5, с. 38–42.
9. Шевлюк Н. Н., Блинова Е. В., Боков Д. А. и Дёмина Л. Л. Морфофункциональная характеристика органов размножения грызунов из популяций, находящихся в зоне влияния завода, перерабатывающего газ с повышенным содержанием соединений серы. Морфология, 2008, т. 134, вып. 5, с. 43–47.
10. Шевлюк Н. Н., Мешкова О. А. и Филатова Л. Н. Морфофункциональная характеристика семенников позвоночных, обитающих в зоне влияния предприятия чёрной металлургии. Морфол. ведомости, 2009, № 3, с. 293–294.

11. Шилова С. А. и Шатуновский М. И. Эколого-физиологические критерии состояния популяций животных при действии повреждающих факторов. *Экология*, 2005, № 1, с. 32–38.
12. Щипанов Н. А. Некоторые аспекты популяционной устойчивости мелких млекопитающих. *Успехи соврем. биол.*, 2000, т. 120, № 1, с. 73–87.
13. Baker P., Ansell R., Dodds P. et al. Factor affecting the distribution of small mammals in an urban area. *Mammal. Rev.*, 2003, v. 33, № 1, p. 95–100.
14. Boonstra R. Equipped for life: the adaptive role of the stress axis in male mammals. *J. Mammal.*, 2005, v. 86, № 2, p. 236–247.
15. Damek-Poprava M. and Sawicka-Kapusta K. Histopathological changes in the liver, kidneys and testes of bank voles environmentally exposed to heavy metal emissions from the steeworks and zink smelter in Poland. *Environ. Res.*, 2004, v. 96, № 1, p. 72–78.

Поступила в редакцию 05.02.2013
Поступила после доработки 18.04.2013

COMPARATIVE MORPHO-FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE ORGANS OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF SMALL MAMMALS UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF SOUTHERN URAL STEPPE ECOSYSTEMS

*N. N. Shevliuk, Ye. V. Blinova, D. A. Bokov,
L. L. Dyomina, Ye. Ye. Yelina, O. A. Meshkova
and M. F. Riskulov*

The morpho-functional characteristics of reproductive organs of small mammals — striped field mouse (*Apodemus agrarius*

Pallas, 1771), house mouse (*Mus musculus* Linnaeus, 1758), wood mouse (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), common vole (*Microtus arvalis* Pallas, 1778), bank vole (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780), steppe lemming (*Lagurus lagurus* Pallas, 1773), little suslik (*Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778), and red-heeked suslik (*Spermophilus major* Pallas, 1779) — belonging to the populations inhabiting anthropogenically modified steppe landscapes (zones influenced by the ferrous metallurgy plants and gas processing plant, as well as the territory of the large city) were studied using histological, electron microscopic, immunocytochemical and morphometric methods. In animals studied, inhabiting technologically modified ecosystems, in contrast to those from ecologically safe regions, the testis demonstrated the increased destruction of spermatogenic epithelium. In the ovaries, the accelerated exhaustion of follicular reserve was detected. The increased embryonic death rate was also observed. The portion of the animals participating in reproduction was enlarged, the female fecundity was increased, while the age at puberty was decreased. Among the animal species studied, the variable degree of stability against the effect of the negative factors was demonstrated.

Key words: *testis, Leydig cells, seminiferous tubules, ovary, anthropogenic influence, rodents*

Department of Histology, Cytology, and Embryology, Orenburg State Medical Academy; Department of Zoology, Ecology and Anatomy, Orenburg State Pedagogical University