

DOI: 10.24412/2707-6180-2023-65-125-132

УДК 591.363.463:502

МРНТИ 34.37, 34.35.51

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТИВНЫХ И РЕАКТИВНЫХ ПЕРЕСТРОЕК ГОНАД ПОЗВОНОЧНЫХ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Н.Н. ШЕВЛЮК

Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия

Шевлюк Н.Н. – <https://orcid.org/0000-0001-9299-0571>, SPIN-код 6952-0466

Citation/

библиографиялық сілтеме/  
библиографическая ссылка:

Shevlyuk NN. Patterns of Adaptive and Reactive Rearrangements of Vertebrate Gonads Under Long-Term Influence of Urbanized Environment Factors. West Kazakhstan Medical Journal. 2023;63(3):125-132

Шевлюк НН. Урбанизацияланған орта факторларының ұзақ мерзімді әсерінен омыртқалы жыныс бездерінің бейімделу және реактивті қайта құрылу үлгілері. West Kazakhstan Medical Journal. 2023;63(3):125-132

Шевлюк НН. Закономерности адаптивных и реактивных перестроек гонад позвоночных в условиях длительного влияния факторов урбанизированной среды. West Kazakhstan Medical Journal. 2023;63(3):125-132

### Patterns of Adaptive and Reactive Rearrangements of Vertebrate Gonads Under Long-Term Influence of Urbanized Environment Factors

N.N. Shevlyuk

Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

Despite the numerous works devoted to the influence of various anthropogenic factors on the organisms of vertebrates, many issues of reactive and adaptive rearrangements of the testes and ovaries of these animals inhabiting urbanized ecosystems need to be clarified and supplemented, or are debatable.

**Purpose:** to establish patterns of reactive and adaptive transformations of the testes and ovaries of vertebrates inhabiting urbanized ecosystems.

**Methods.** Using the methods of light and electron microscopy, immunohistochemistry and morphometry, an analysis was made of the transformations of the organs of the reproductive system of vertebrates (amphibians, reptiles, birds, mammals) from populations living in urbanized ecosystems.

**Results.** It was found that in the conditions of urbanized ecosystems there is an intensification of reproduction, a higher proportion of males and females of the animal species we studied (up to 100%) took part in reproduction during the breeding season than in ecologically safe ecosystems. At the same time, animals of smaller mass take part in reproduction, which indicates a decrease in the age of puberty in populations of the studied vertebrate species from anthropogenic landscapes. Against the background of the intensification of reproductive activity in the structures of the gonads, there is a two to three times increase in destructive changes in the male and female gonads. In the testes, the proportion of tubules with destruction of the spermatogenic epithelium increases, in the ovaries there is an increase in atretic bodies, a more rapid depletion of the reserve of follicles. Attention is drawn to the increase in the proportion of interstitial tissue in the testes of the studied animals.

**Discussion.** Comparative analysis of the identified morphological equivalents of adaptive transformations in the organs of the reproductive system indicates that a number of studied species of vertebrates (common and bank voles, small forest, field and house mice, rock dove) have a high adaptive potential, thanks to which they manage to successfully adapt to anthropogenic conditions and keep populations at a sufficiently high level.

It is known that environmental factors are the driving factors of the evolutionary process. The obtained results indicate that anthropogenic factors may be the leading factors of microevolutionary transformations in vertebrate populations.

**Keywords:** *testis, ovary, anthropogenic factors, Leydig cells, spermatogenic epithelium.*

### Урбанизацияланған орта факторларының ұзақ мерзімді әсерінен омыртқалы жыныс бездерінің бейімделу және реактивті қайта құрылу үлгілері

Шевлюк Н.Н.

Орынбор мемлекеттік медицина университеті, Орынбор, Ресей

Әртүрлі антропогендік факторлардың омыртқалы жануарлардың ағзаларына әсеріне арналған көптеген еңбектерге қарамастан, урбанизацияланған экожүйелерді мекендейтін осы жануарлардың аталық бездері мен аналық бездерінің реактивті және бейімделгіш қайта құрылуының көптеген мәселелері



Н.Н. Шевлюк  
e-mail: [k\\_histology@orgma.ru](mailto:k_histology@orgma.ru)

Received/  
Келін түсті/  
Поступила:  
21.06.2023

Accepted/  
Басылымға қабылданды/  
Принята к публикации:  
24.08.2023

ISSN 2707-6180 (Print)  
© 2021 The Authors  
Published by West Kazakhstan Marat Ospanov  
Medical University

нактылауды және толықтыруды қажет етеді немесе пікірталас тудырады.

Мақсаты: урбанизацияланған экожүйелерді мекендейтін омыртқалылардың аталық бездері мен аналық бездерінің реактивті және бейімделгіш түрлену заңдылықтарын анықтау.

Материал және әдістер. Жарық және электронды микроскопия, иммуногистохимия және морфометрия әдістерін қолдана отырып, урбанизацияланған экожүйелерде өмір сүретін популяциялардан омыртқалылардың (қосмекенділер, бауырымен жорғалаушылар, құстар, сүтқоректілер) ұрпақты болу жүйесінің мүшелерінің өзгеруіне талдау жасалды.

Нәтижелер. Урбанизацияланған экожүйелер жағдайында көбеюдің интенсивтілігі байқалатыны, экологиялық қауіпсіз экожүйелермен салыстырғанда біз зерттеген жануарлар түрлерінің аталықтары мен аналықтарының көбірек үлесі (100%-ға дейін) көбею кезеңінде көбеюге қатысқаны анықталды. Бұл ретте көбеюге массасы аз жануарлар қатысады, бұл антропогендік ландшафттардан зерттелетін омыртқалы жануарлар түрлерінің популяцияларында жыныстық жетілу жасының төмендеуін көрсетеді. Жыныс бездерінің құрылымдарында репродуктивті белсенділіктің күшеюі фондында аталық және әйел жыныс бездерінде деструктивті өзгерістердің екі-үш есе жоғарылауы байқалады. Аталық бездерде сперматогендік эпителийдің бұзылуымен түтікшелердің үлесі артады, аналық бездерде атретикалық денелердің ұлғаюы, фолликулалар қорының тезірек сарқылуы байқалады. Зерттелетін жануарлардың аталық бездеріндегі интерстициальды тіндердің үлес салмағының жоғарылауына назар аударылады. Нәтижелерді талқылау. Репродуктивті жүйе органдарындағы бейімделу өзгерістерінің анықталған морфологиялық эквиваленттерін салыстырмалы талдау омыртқалы жануарлардың бірқатар зерттелген түрлерінің (қарапайым және жағалау тышқандары, ұсақ орман, дала және үй тышқандары, тас көгершін) жоғары бейімделу потенциалына ие екенін көрсетеді. олар антропогендік жағдайларға сәтті бейімделіп, популяцияларды жеткілікті жоғары деңгейде ұстай алады.

Экологиялық факторлар эволюциялық процестің қозғаушы факторлары екені белгілі. Алынған нәтижелер омыртқалы популяциялардағы микроэволюциялық өзгерістердің жетекші факторлары антропогендік факторлар болуы мүмкін екенін көрсетеді.

**Негізгі сөздер:** аталық без, антропогендік факторлар, Лейдиг жасушалары, сперматогенді эпителий

### **Закономерности адаптивных и реактивных перестроек гонад позвоночных в условиях длительного влияния факторов урбанизированной среды**

Н.Н. Шевлюк

Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия

Несмотря на многочисленность работ, посвященных влиянию различных антропогенных факторов на организм позвоночных животных, многие вопросы реактивных и адаптивных перестроек семенников и яичников этих животных, населяющих урбанизированные экосистемы, нуждаются в уточнении и дополнении, либо являются дискуссионными.

**Цель.** Установление закономерностей реактивных и адаптивных преобразований семенников и яичников позвоночных, населяющих урбанизированные экосистемы.

**Материалы и методы.** С использованием методов световой и электронной микроскопии, иммуногистохимии и морфометрии проведен анализ преобразований органов репродуктивной системы позвоночных (амфибий, рептилий, птиц, млекопитающих) из обитающих в урбанизированных экосистемах популяций.

**Результаты.** Было выявлено, что в условиях урбанизированных экосистем наблюдается интенсификация репродукции. В сезон размножения в репродукции принимали участие более высокая доля самцов и самок, исследуемых нами видов животных (до 100%), чем в экологически благополучных экосистемах. При этом в репродукции принимают участие животные меньшей массы, что свидетельствует о снижении возраста половой зрелости в популяциях исследованных видов позвоночных из антропогенных ландшафтов. На фоне интенсификации репродуктивной активности в структурах гонад наблюдается в два-три раза возрастание деструктивных изменений в мужских и женских гонадах. В семенниках возрастает доля канальцев с деструкцией сперматогенного эпителиа, в яичниках наблюдается возрастание атретических тел, более быстрое

истощение резерва фолликулов. Обращает на себя внимание возрастание доли интерстициальной ткани в семенниках исследованных животных.

**Обсуждение результатов.** Сравнительный анализ выявленных морфологических эквивалентов адаптивных преобразований в органах репродуктивной системы свидетельствуют о том, что ряд исследованных видов позвоночных (обыкновенная и рыжая полевки, малая лесная, полевая и домовая мыши, сизый голубь) обладают высоким адаптивным потенциалом, благодаря которому им удается успешно адаптироваться к антропогенным условиям и сохранить численность популяций на достаточно высоком уровне.

Известно, что факторы среды являются движущими факторами эволюционного процесса. Полученные результаты указывают на то, что антропогенные факторы могут быть ведущими факторами микроэволюционных преобразований в популяциях позвоночных.

**Ключевые слова:** семенник, яичник, антропогенные факторы, клетки Лейдига, сперматогенный эпителий

## Введение

В результате многолетней деятельности человека сформировались разнообразные экосистемы, которые в значительной степени отличаются от естественных биоценозов. К числу наиболее измененных ландшафтов деятельностью человека относятся урбанизированные территории. Типичными примерами таких территорий являются крупные города, в которых на человека и животных действует комплекс негативных факторов, а также города с небольшим населением, в которых основное негативное влияние оказывают промышленные выбросы градообразующих предприятий черной и цветной металлургии, нефтяной, газовой и химической промышленности. При этом влияние промышленных выбросов может распространяться на десятки километров. В зоне влияния промышленных предприятий создаются наиболее сложные условия для живых организмов [1-6]. В зоне влияния предприятий черной и цветной металлургии ведущими негативными факторами являются соединения различных металлов, содержащиеся в почве и воде, а также ряд соединений серы и азота [3, 7-16]. В зоне влияния предприятий нефтяной, газовой и химической промышленности в атмосфере производственных и санитарно-защитных зонах предприятий содержится комплекс различных органических и неорганических веществ, среди которых ведущее негативное влияние оказывают углеводороды, сероводород, окислы серы, азота [3, 4, 17].

На территории и в окрестностях многих крупных промышленных центров образовались так называемые «индустриальные пустыри», где резко снижено видовое биоразнообразие растений и животных, ряд видов вынуждены покинуть эти территории, либо погибнуть [3, 4, 7].

Несмотря на многочисленность работ, посвященных влиянию различных антропогенных факторов на организм позвоночных животных [1-3, 18-22 и др.], многие вопросы реактивных и адаптивных перестроек сперматогенеза и овогенеза в организме этих животных нуждаются в дальнейшем изучении.

В данной работе обобщены результаты многолетних исследований морфофункциональных изменений

в органах репродуктивной системы позвоночных животных, населяющих различные территории урбанизированных экосистем.

**Целью исследования** явилось установление закономерностей реактивных и адаптивных преобразований семенников и яичников позвоночных, населяющих урбанизированные экосистемы.

## Материалы и методы

Исследовали семенники и яичники представителей различных классов позвоночных – амфибий (озерная лягушка *Pelophylax ridibundus*, травяная лягушка *Rana temporaria*, зеленая жаба *Bufo viridis*, обыкновенная жаба *Bufo bufo*), рептилий (прыткая ящерица *Lacerta agilis*), птиц (сизый голубь *Columba livia*), млекопитающих (обыкновенная бурозубка *Sorex araneus*, обыкновенная полевка *Microtus arvalis*, рыжая полевка *Myodes glareolus*, степная пеструшка *Lagurus lagurus*, малая лесная мышь *Apodemus uralensis*, домовая мышь *Mus musculus*, полевая мышь *Apodemus agrarius*, малый суслик *Spermophilus pygmaeus*, рыжеватый суслик *Spermophilus major*, байбак *Marmota bobak*). Сбор материала осуществляли в экологически благополучных экосистемах Южного Урала и в урбанизированных территориях (жилая застройка, дачные массивы, территории промышленных предприятий, лесополосы, парки и скверы городов Оренбурга, Медногорска, Новотроицка).

Семенники и яичники животных с выраженным сезонным характером репродукции исследовали как в период репродуктивной активности, так и в период сезонного угнетения репродукции. Сбор материала осуществляли в период 2000-2023 годов. При подготовке данной работы были проанализированы семенники и яичники от 20 особей каждого вида.

При работе с животными соблюдали требования, содержащиеся в «Европейской конвенции по защите позвоночных, используемых для экспериментальных и иных научных целей» (1986).

Материал обрабатывали с использованием гистологических, гистохимических, ультраструктурных, иммуногистохимических и морфометрических методов [3, 23, 24].

Для проведения светооптических исследований

материал фиксировали в 10% забуференном нейтральном формалине, в спирт-формоле. Фиксированный материал подвергался обезвоживанию при последовательном погружении в спирты возрастающей концентрации и заливали в парафин по общепринятой методике. На ротационном микротоме изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм. Срезы окрашивали гематоксилином Майера и эозином [2].

Для электронно-микроскопических исследований материал фиксировали в охлажденном 2,5% растворе глутарового альдегида на S-коллединовом буфере (рН 7,2-7,4). Постфиксацию проводили по Millonig G. [24]. Материал дегидратировали в ацетоне возрастающей концентрации и заливали в эпон-812 и аралдит. Ультратонкие срезы, полученные на ультратоме LKB-5 (производства Швеции), перед просмотром подвергали двойному контрастированию в 2% водном растворе уранил-ацетата при температуре +370С в течение 2 часов и цитрате свинца [27]. Срезы изучали на электронном микроскопе марки ЭМВ 100 АК (производства завода в г. Сумы, Украина). Фотографировали изучаемые структуры при увеличениях от 6400 до 40000.

С использованием моноклональных антител фирмы «Affinity Biosciences» (Китай) на срезах выявляли экспрессию белков P53 и bcl2 и подсчитывали количество клеток, экспрессирующих эти белки.

На гистологических срезах семенников проводили подсчет площади, которую занимали извитые семенные канальца и интерстициальная соединительная ткань. Подсчитывали численность клеток Лейдига, измеряли линейный и объемный показатели их ядер. На строго поперечных срезах измеряли диаметр извитых семенных канальцев [7]. В придатках семенника измеряли высоту эпителия, диаметр канальцев, учитывали количество сперматозоидов. В корковом веществе яичников, производили подсчет развивающихся фолликулов различной степени зрелости, а также количество атретических тел. Морфометрию эндокринных и герминативных структур семенников и яичников осуществляли на микроскопе MX-300T (MikroOptix, Австрия) с использованием программы «TopView», (USA) в соответствии со сложившимися принципами системного количественного анализа.

Обработка полученных результатов проводилась на персональном компьютере с использованием программы «Microsoft Excel 2007» из пакета программ Microsoft Office 2007. С помощью лицензированного пакета прикладных программ «Statistica 6.0» («StatSoft, Inc.») по правилам параметрической статистики с применением критериев оценки достоверности результатов по Стьюденту, с учетом вариабельности первичных измеряемых объектов и индивидуальной изменчивости.

## Результаты

В результате анализа гистологических препаратов семенников и яичников исследованных видов животных был выявлен ряд закономерных преобразований

морфологии и физиологии репродуктивной активности животных в условиях урбанизированных территорий. Основными закономерностями являются следующие:

1. Изменение численности животных на урбанизированных территориях

Антропогенная трансформация экосистем ухудшает условия существования не только крупных, но также и мелких млекопитающих. Анализ видового разнообразия показал, что в условиях урбанизированной среды количество видов в сообществах позвоночных существенно снижено, некоторые из исследованных видов не способны существовать в условиях урбанизированной среды. В условиях урбанизированных территорий численность исследованных видов мелких млекопитающих на разных участках городских территорий была неравномерной. Так, в лесополосах была высокая численность обыкновенной и рыжей полевки, малой лесной мыши. В дачных массивах и в районах одноэтажной жилой застройки численность домового и полевой мышей практически не отличалась по сравнению с естественными экосистемами, а снижение численности населения обыкновенной полевки и домового мыши более чем в два раза было отмечено в парках и скверах, на территориях промышленных предприятий и вокруг них. Очевидно, что на территориях промышленных предприятий ведущим фактором снижения численности исследованных явилась недостаточная кормовая база. Что же касается парков и скверов, то, вероятно, ведущими факторами снижения численности в этих экосистемах явились стрессорные факторы, вызванные постоянным присутствием человека и домашних животных (собак и кошек).

Численность сизого голубя была высокой на большинстве территорий городской застройки, тогда как в естественных экосистемах его численность была низкой, либо голуби отсутствовали. Подобные факты указывают на высокий адаптационный потенциал этого вида птиц, на хорошую приспособляемость этих птиц к условиям урбанизированной среды.

Распространенность исследованных рептилий в урбанизированных экосистемах была мозаичной. Так, ящерицы практически отсутствовали в парках и скверах, однако, в лесополосах, пустырях и дачных участках их численность была снижена незначительно.

Обращает на себя внимание снижение численности исследованных амфибий на урбанизированных территориях (более чем в три раза). Основными причинами этого является нарушение их среды обитания.

2. Интенсификация размножения

Анализ гистологических препаратов семенников и яичников исследованных видов животных показал, что число животных, состояние семенников или яичников которых свидетельствует о том, что эти животные могут участвовать в размножении, в условиях антропогенных экосистем выше, чем в естественных



экосистемах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в условиях антропогенной трансформации ландшафтов наблюдается интенсификация репродукции, в сезон размножения в репродукции принимала участие более высокая доля самцов и самок исследуемых нами видов животных. Если в естественных экосистемах в репродукции обычно участвуют 50-60% самцов и самок, то, как показали наши исследования, в условиях антропогенных экосистем доля участвующих в репродукции особей обоих полов может достигать 100%.

Одной из причин, приводящих к интенсификации размножения, является снижение численности популяций, которая обусловлена, прежде всего, повышенной эмбриональной и постэмбриональной смертностью, связанной с воздействием негативных антропогенных факторов.

3. Снижение возраста половозрелости. Ускорение полового созревания

Анализ морфофункциональной характеристики извитых семенных канальцев и коркового вещества яичников показал, что по состоянию семенников и яичников в антропогенных экосистемах в репродукции могли участвовать амфибии, рептилии и млекопитающие животные более низкой массы по сравнению с животными естественных биоценозов. Так, у разных видов было отмечено снижение массы размножающихся животных на 10-35%. Полученные факты свидетельствуют о том, что в антропогенных экосистемах в репродукции начинают участвовать особи более раннего возраста. То есть, эти результаты свидетельствуют о снижении возраста половой зрелости в популяциях исследованных видов позвоночных из антропогенных ландшафтов. Сходные данные были получены при исследовании биологии размножения рыб в зоне влияния предприятия цветной металлургии на Кольском полуострове [2]. Как показали эти авторы, одной из ответных реакций популяций ряда рыб из водоемов, загрязненных соединениями тяжелых металлов, является ускорение полового созревания и появление способных к размножению карликовых взрослых форм.

4. Снижение массы гонад

Было выявлено, что животные, населяющие урбанизированные экосистемы, имеют меньшую массу семенников и яичников. Одной из причин такого снижения является участие в репродукции животных более ранних возрастов, которые, соответственно имеют меньшую массу тела и меньшую массу гонад. У исследованных видов было выявлено снижение диаметра извитых семенных канальцев на 5-20%. Это приводило к тому, что наблюдалось снижение доли извитых семенных канальцев в общем объеме семенника. Если в условиях естественных экосистем на долю канальцев приходилось более 90% объема семенника, то в условиях урбанизированных территорий объем извитых семенных канальцев колебался в пределах 80-85% объема семенника. При этом необходимо отметить, что в условиях урбанизированной среды у живот-

ных с сезонным характером размножения произошло уменьшение на одну-две недели календарных сроков, в течение которых структура гонад свидетельствует о возможном участии животных в размножении. Эти факты являются еще одним подтверждением интенсификации размножения.

5. Возрастание деструктивных изменений в гонадах

На фоне интенсификации репродуктивной активности в структурах гонад наблюдается возрастание деструктивных изменений в мужских и женских гонадах. Обращает на себя внимание возрастание доли интерстициальной ткани в семенниках исследованных животных. В условиях городской территории доля соединительной ткани в семенниках возрастала в 2-3 раза у разных видов. Выявлено, что в семенниках практически у всех исследованных животных из антропогенно измененных территорий отмечается уменьшение диаметра извитых семенных канальцев. Наиболее рельефное снижение диаметра извитых семенных канальцев проявляется у животных, населяющих зоны влияния предприятий черной и цветной металлургии. При этом у ряда животных гистологическая картина извитых семенных канальцев свидетельствует об остановке сперматогенеза, в сперматогенном эпителии выявляются только клетки Сертоли и сперматогонии. По своей морфологической характеристике такие извитые семенные канальцы сходны с канальцами периода эмбриогенеза. На фоне снижения диаметра извитых семенных канальцев в семенниках возрастала доля канальцев с различными деструктивными изменениями в сперматогенном эпителии. Наиболее частыми проявлениями деструктивных изменений в сперматогенном эпителии являются: дезинтеграция клеток сперматогенного эпителия различные нарушения в морфологии развивающихся половых клеток, появление многоядерных клеток в просвете извитых семенных канальцев, отслоение сперматогенного эпителия от базальной мембраны. В соединительнотканной части стенки извитых семенных канальцев на ультраструктурном уровне выявляются нарушения структуры компонентов и гематотестикулярного барьера и нарушение целостности этого барьера. В яичниках животных из антропогенных экосистем увеличивается численность фолликулов, вступающих в стадию быстрого роста. Одновременно с этим возрастает количество атретических фолликулов. В совокупности эти два процесса приводят к более быстрому истощению резерва фолликулов в яичниках животных из урбанизированных экосистем.

6. Некоторые закономерности реализации адаптивного потенциала исследованных видов

Сравнительный анализ морфофункциональной характеристики гонад, исследованных позвоночных показал, что способность к адаптации к жизни в антропогенной среде у исследованных позвоночных существенно различается. Было выявлено, что в се-

менниках и яичниках ряда исследованных видов млекопитающих (обыкновенная и рыжая полевки, малая лесная, полевая и домовая мыши) деструктивные изменения были слабо выражены, либо совсем отсутствовали. Сходное состояние семенников и яичников было выявлено и у сизого голубя. Полученные факты свидетельствуют о том, что эти виды обладают высоким адаптивным потенциалом, благодаря которому им удается успешно адаптироваться к антропогенным условиям и сохранить численность популяций на достаточно высоком уровне, тогда как многим видам это не удается. К числу наименее адаптивных видов относятся все исследованные виды амфибий (озерная лягушка, травяная лягушка, зеленая жаба, обыкновенная жаба). В семенниках этих животных были отмечены многочисленные деструктивные изменения как в сперматогенном эпителии, так и в соединительнотканной части стенки извитых семенных канальцев. В яичниках этих животных были выявлены многочисленные деструктивные изменения в развивающихся яйцеклетках и окружающих их фолликулярных клетках.

7. Изменение пролиферативной активности в сперматогенном эпителии семенников

Анализ экспрессии белков bcl2 и P53 в сперматогенном эпителии показал, что у ряда исследованных животных (озерная лягушка, травяная лягушка, зеленая жаба, обыкновенная жаба) в сперматогенном эпителии существенно снижается доля клеток, экспрессирующих bcl2 и возрастает доля клеток с экспрессией P53. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на фоне интенсификации размножения, на фоне участия в размножении все большего числа особей, сперматогенный эпителий функционирует в весьма напряженном режиме и демонстрирует снижение пролиферативной активности развивающихся половых клеток. При этом на фоне снижения пролиферативной активности в популяции сперматогенных клеток возрастает доля клеток, демонстрирующих возрастание генетически запрограммированной гибели. Таким образом, полученные результаты указывают, что органы репродуктивной системы ряда исследованных видов, населяющих урбанизированные экосистемы, функционируют на пределе своих возможностей.

### Обсуждение результатов

Как показали наши результаты, одной из ведущей ответной реакцией популяций позвоночных урбанизированных территорий на действие негативных факторов среды обитания является интенсификация размножения, направленная на компенсацию повышенной эмбриональной и постнатальной гибели животных. Другой важной реакцией популяций животных из урбанизированных территорий является ускорение полового созревания. Наши данные согласуются с данными ряда исследователей, показавших снижение возраста половой зрелости и даже появление способных к размножению карликовых взрослых форм в условиях техногенных изменений среды обитания [1, 2, 5, 11].

Сравнительный анализ выявленных морфологических эквивалентов адаптивных преобразований в органах репродуктивной системы свидетельствуют о том, что ряд исследованных видов позвоночных (обыкновенная и рыжая полевки, малая лесная, полевая и домовая мыши, сизый голубь) обладают высоким адаптивным потенциалом, благодаря которому им удается успешно адаптироваться к антропогенным условиям и сохранить численность популяций на достаточно высоком уровне.

Наличие наиболее выраженных деструктивных изменений в семенниках и яичниках исследованных амфибий указывает на то, что эти амфибии являются наиболее восприимчивыми к действию негативных факторов среды, что приводит к снижению их численности. На урбанизированных территориях основными источниками загрязнения водоемов являются промышленные стоки, а также газообразные поллютанты, которые растворяясь в воде существенно нарушают ее качество. Значительное снижение численности исследованных лягушек напрямую зависит от ухудшения качества воды в пресных водоемах, с которыми связаны все этапы жизни лягушек.

Наши результаты свидетельствуют о том, что в условиях урбанизированной среды количество видов в сообществах позвоночных существенно снижено, некоторые из исследованных видов не способны существовать в условиях урбанизированной среды. Таким образом, на урбанизированных территориях формируется сообщество позвоночных, которое характеризуется сниженной численностью большинства видов и сниженным биоразнообразием. Виды, которые успешно адаптируются к факторам антропогенной урбанизированной среды являются полностью или в значительной степени синантропными.

Известно, что факторы среды являются движущими факторами эволюционного процесса. Полученные результаты указывают на то, что антропогенные факторы могут быть ведущими факторами микроэволюционных преобразований в популяциях позвоночных.

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном негативном влиянии факторов урбанизированной среды на биологию размножения исследованных амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. Комплекс негативных факторов антропогенной среды приводит к нарастанию деструктивных изменений в гонадах, что при длительном воздействии комплекса антропогенных факторов приводит к снижению численности ряда видов, вплоть до полного их исчезновения (гибели, либо миграции в более благополучные экосистемы).

Ведущими ответными реакциями популяций животных, населяющих урбанизированные экосистемы являются интенсификация размножения, снижение возраста половой зрелости, снижение массы животных, участвующих в размножении.

Анализ деструктивных изменений, исследованных

в мужских и женских позвоночных гонадах показал, что наиболее выражены деструктивные изменения в семенниках и яичниках наблюдаются у амфибий. Это указывает на то, что эти амфибии являются наиболее восприимчивыми к действию негативных факторов среды, что вероятно, обусловлено тем, что поскольку они обитают как в водной среде, так и на суше, то испытывают негативное воздействие и водной и воздушной среды.

Как показал сравнительный анализ гистологических препаратов семенников и яичников,

более устойчивыми к действию негативных факторов урбанизированной среды являются органы репродуктивной системы обыкновенной и рыжей полевки, малой лесной, полевой и домовый мышей, сизого голубя. Это указывает на их высокий адаптивный потенциал, благодаря которому им удается успешно адаптироваться к условиям урбанизированной среды, успешно осуществлять размножение и сохранить численность популяций на достаточно высоком уровне.

*Вклад автора*

Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Вклад автора выразился в разработке концепции и дизайна исследования, сборе и обработке биологического материала, редактировании текста, анализе литературы, интерпретации результатов, написании статьи.

*Конфликт интересов*

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

*Источник финансирования*

Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

*Список литературы:*

1. Лукьянова Л.Е., Лукьянов О.А. Экологически дестабилизированная среда: влияние на население мелких млекопитающих // Экология. 2004. № 3. С. 210 – 217.  
*Luk'janova L, Luk'janov OA. Ecologically Destabilized Environments: Impact on Small Mammal Population. Ecology. 2004;3:210 – 217. (In Russ.).*
2. Решетников Ю.С., Акимова Н.В., Попова О.А. Аномалии в системе воспроизводства рыб при антропогенном воздействии // Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т. 2. №2. С. 274 – 282.  
*Reshetnikov JuS, Akimova NV, Popova OA. Anomalies in the fish reproduction system under anthropogenic impac. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2000;2(2):274 – 282. (In Russ.).*
3. Шевлюк Н.Н., Стадников А.А. Клетки Лейдига семенников позвоночных (онтогенез, ультраструктура, цитофизиология, факторы и механизмы регуляции). Оренбург: Изд-во ОРГМА. 2010. 484с.  
*Shevljuk NN, Stadnikov A. Leydig cells of vertebrate testes (ontogeny, ultrastructure, cytophysiology, factors and mechanisms of regulation) 2010. 484 p. (In Russ.).*
4. Шевлюк Н.Н., Бекмухамбетов Е.Ж., Мамырбаев А.А., Джаркенов Т.А., Умбетов Т.Ж., Боков Д.А. Биология размножения, стратегия выживания и механизмы адаптации позвоночных антропогенных ландшафтов. Оренбург: Изд-во ОРГМУ. 2016. 267 с.  
*Shevljuk NN, Bekmuhambetov EZh, Mamyrbayev AA, et al. Biology of reproduction, strategy of survival and mechanisms of adaptation of vertebrate anthropogenic landscapes 2016. 267 p. (In Russ.).*
5. Baker P, Ansell R., Dodds P, Webber C., Harris C. Factor affecting the distribution of small mammals in an urban area // Mammal Rev. 2003. Vol. 33, № 1. P. 95 – 100. doi:10.1046/j.1365-2907.2003.00003.x  
*Baker P, Ansell R, Dodds P, Webber C, Harris C. Factor affecting the distribution of small mammals in an urban area. Mammal Rev. 2003;33(1):95-100. doi:10.1046/j.1365-2907.2003.00003.x*
6. Pulu putturi S.R., Dayapulae J.R. Metals: male reproductive function // Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 2012. Vol. 16(2), №13. P. 56-60.  
*Pulu putturi SR, Dayapulae JR. Metals: male reproductive function. Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 2012;16(2):56-60.*
7. Шевлюк Н.Н., Мамырбаев А.А., Умбетов Т.Ж. Морфофункциональная характеристика репродуктивной системы позвоночных в условиях воздействия на их среду обитания соединений тяжелых металлов. Эколого-морфологические аспекты // Морфология. 2018. Т. 154. № 4. С. 90 – 99.  
*Shevljuk NN, Mamyrbayev AA, Umbetov TZh. Morphofunctional characteristics of the reproductive system of vertebrates under the influence of heavy metal compounds on their habitat. Ecological and morphological aspects. Morfologija. 2018;154(4):90 – 99. (In Russ.).*
8. Мамина В.П., Шейко Л.Д., Жигальский О.А. Оценка состояния сперматогенного эпителия и выход доминантных летальных мутаций у крыс, подвергнутых действию шестивалентного хрома в малых дозах // Успехи современного естествознания. 2013. № 11. С. 50 – 53.  
*Mamina VP, Shejko LD, Zhigal'skij OA. Evaluation of the condition of the spermatogenic epithelium and the yield of dominant lethal mutations in rats exposed to low doses of hexavalent chromium. Uspehisovremennogo estestvoznaniya. 2013;11:50 – 53. (In Russ.).*
9. Боков Д.А., Шевлюк Н.Н., Абдильданова А.М. Формирование изменчивости цитометрических параметров в различных кластерах интерстициальных эндокриноцитов семенников мышей CBAxС57BL6 при хром-бензолной интоксикации в эксперименте // Бюлл. эксперим. биол. и мед. 2014. Т. 157. № 1. С. 53 – 56.  
*Bokov DA, Shevljuk NN, Abdil'danova AM. Formation of Variability of Cytometric Parameters in Different Clusters of Interstitial Endocrinocytes of Testes of CBAxС57BL6 Mice in Experimental Chromium-Benzene Intoxication. Bjull. jeksperim. biol. i med. 2014;157(1):53-56. (in Russian).*
10. Blanco A., Moyano R., Vivo J., Flores-Acuna R., Molina A., Blanco C., Aguera E., Monterde J.G. Quantitative changes in the testicular structure in mice exposed to low doses of cadmium // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2007. Vol. 23, №1. P. 96-101. doi: 10.1016/j.etap.2006.07.008.
11. Karim R, Williams Sh. Heavy metal accumulation and associated histological changes in the ovary of Liza parsia (Ham, 1822). Int. J. Curr. Res. 2015;7(1):11866-11868.
12. Masarat J, Borana K, Sujaad N. Effect of mercuric chloride on histology of ovaries of African catfish, Clarias gariepinus. IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences (IMPACT: IJRANSS). 2014;2(5):107-110.
13. Messaoudi L, Banni M, Said L, Kerkeni A. Evaluation of involvement of testicular metallothionein gene expression in the protective effect of zinc against cadmium-induced testicular pathophysiology in rat. Reprod. Toxicol. 2010;29(3):339-345. doi:10.1016/j.reprotox.2010.01.004
14. Pant N, Kumar G, Upadhyay AD, et al. Reproductive toxicity of lead, cadmium, and phthalate exposure in men. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(18):11066 – 11074. doi: 10.1007/s11356-014-2986-5
15. Egea-Serrano A, Relyea RA, Tejado M, Torralva M. Understanding

- of the impact of chemical on amphibians: a meta-analytic review. *Ecology and evolution*. 2012;2(7):1382-1397. doi: 10.1002/ece3.249
16. Dettlaff TA, Ginsburg AS, Schmalhausen OI. *Sturgeon Fishes*. Developmental Biology and Aquaculture. Springer-Verlag 1993. 313 p.
  17. Шевлюк Н.Н., Стадников А.А., Боков Д.А., Блинова Е.В. Гипоталамо-гипофизарно-гонадная система млекопитающих при воздействии на организм дестабилизирующих факторов различной интенсивности. *Вестник Оренбургского государственного медицинского университета*. 2007; 5(78): 208 – 210.  
*Shevljuk NN, Stadnikov AA, Bokov DA, Blinova EV. The hypothalamic-pituitary-gonadal system of mammals under the influence of destabilizing factors of varying intensity on the body. Vestnik Orenburgskogo sudarstvennogomedicinskogo universiteta*. 2007; 5(78):208 – 210. (in Russian).
  18. Rana S. Perspectives in ecological toxicity of heavy metal. *Biological Trace Element Research*. 2014;160(1):1 – 14. doi 10.1007/s12011-014-0023-7
  19. Шевлюк Н.Н. Сравнительная гистология мужской репродуктивной системы позвоночных. Оренбург: Изд-во ОрГМУ; 2017. 176с.  
*Shevljuk NN. Comparative histology of the male reproductive system of vertebrates* 2017. 176 p. (In Russ.).
  20. Cheng CY, Mruk DD. The biology of spermatogenesis: the past, present and future. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2010;365(1546):1459 – 1463. doi: 10.1098/rstb.2010.0024
  21. Gofur MR, Khan MZI, Karim MR, Islam Bangl MN. Histomorphology and histochemistry of testis of indigenous bull (*Bos indicus*) of Bangladesh. *J. Vet. Med.* 2008;6(1):67 – 74. doi:10.3329/bjvm.v6i1.1341
  22. Шевлюк Н.Н. Морфофункциональная характеристика интерстициальных эндокриноцитов (клеток Лейдига) семенников некоторых позвоночных в условиях сезонного изменения репродуктивной активности. *Морфология*. 1995; 108(2): С. 57 – 60.  
*Shevljuk NN. Morphofunctional characteristics of interstitial endocrinocytes (Leydig cells) of the testes of some vertebrates under conditions of seasonal changes in reproductive activity. Morfologija*. 1995;108(2):57 – 60. (In Russ.).
  23. Семченко В.В., Барашкова С.А., Ноздрин В.И., Артемьев В.Н. Гистологическая техника. 3-е изд., доп. и переработ. Омск – Орёл: Омская областная типография. 2006. 290 с.  
*Semchenko VV, Barashkova SA, Nozdrin VI, Artem'ev VN. Histological technique. Omsk – Orjol. Omskaya oblastnaya tipografija*. 2006:290. (In Russ.).
  24. Ухов Ю.И., Астраханцев А.Ф. Морфометрические методы в оценке функционального состояния семенников // *Архив анат.* 1983; 84(3): 66 – 72.  
*Uhov Ju.I, Astrahancev AF. Morphometric methods in assessing the functional state of the testicles. Arhiv anat.* 1983; 84(3):66 – 72. (In Russ.).