

УДК 504.064 (571.12)

## ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УРБОЭКОСИСТЕМ

© 2011 А.Ю. Левых, Г.Г. Пузынина, А.В. Ермолаева, А.В. Иванкова, Д.О. Шерер

Ишимский государственный педагогический институт имени П.П. Ершова

Поступила в редакцию 04.10.2011

В статье обсуждаются результаты химического и биоиндикационного анализа наземных и водных экосистем г. Ишима. В качестве биоиндикаторов использованы птицы, мелкие млекопитающие, *Taraxacum officinale*, Euglenoidea.

Ключевые слова: биоиндикация, популяция, загрязнение, экосистема, сапробность

Одной из актуальных задач современной урбоэкологии является оптимизация состояния городской среды, поскольку в городах проживает большая часть населения планеты. Для принятия оптимальных решений на всех уровнях управления, эксплуатации, финансирования городского хозяйства необходимо иметь объективную информацию о химическом загрязнении среды, экологическом состоянии наземных и водных биогеоценозов и реакции живых организмов на интегрированное антропогенное воздействие, в том числе комбинированное техногенное загрязнение. Важнейшей экологической задачей представляется прогноз возможных генетических последствий действия загрязнителей.

**Цель работы:** комплексная оценка состояния наземных и водных экосистем г. Ишима аналитическими и биоиндикационными методами с применением разных групп организмов.

Для проведения исследований выбраны районы г. Ишима, испытывающие различную антропогенную нагрузку (табл. 1). В качестве условно чистой зоны выбран лесопарк «Народный парк», расположенный на окраине города и испытывающий наименьшую из всех зелёных зон города антропогенную нагрузку.

**Материалы и методы работы.** С помощью индивидуальных переносимых газоанализаторов «АНКАТ-7664М» определяли содержание в воздушных пробах из 23 точек города

содержание монооксида углерода (CO), диоксида серы (SO<sub>2</sub>), диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и сероводорода (H<sub>2</sub>S). Измерения проводили в сентябре 2011 г. в утренние часы «пик» в 3 повторностях. Фактические концентрации изучаемых газов в атмосферном воздухе г. Ишима сравнивали с гигиеническими нормативами СанПиН (ГН 2.1.6.695-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест). По «эффекту суммации» анализировали комбинированное действие смесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Оценку цитогенетического гомеостаза проводили с использованием широко распространённого дикорастущего вида одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*). Семена одуванчика собирали в период массового плодоношения и проращивали на влажной фильтровальной бумаге в чашках Петри при 26°C в термостате до появления корешков 5-6 мм. Корешки фиксировали в спирт-уксусной смеси (3:1) не менее 2 часов. Проростки окрашивали ацетоорсеином на водяной бане в течение 10-12 минут и готовили временные давленные препараты по общепринятой методике [4]. Уровень мутаций определяли с использованием анафазно-телофазного метода, учитывали «Мосты, которые появляются в результате образования дицентриков».

Качественные и количественные учёты птиц проводили методом фаунистических наблюдений трижды по каждому маршруту в утреннее время через 1-1,5 часа после рассвета. Отлов мелких млекопитающих производили методом массового неизбирательного отлова ловушками Геро. Отловленных животных подвергали полному морфофизиологическому обследованию [10]. Для оценки состояния сообществ птиц и мелких млекопитающих использовали общепринятые информационно-структурные показатели [3]. Достоверность выявленных цитогенетических и морфофизиологических изменений определяли по критериям значимости Стьюдента и Фишера [7].

*Левых Алёна Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и методики её преподавания. E-mail: aljurlev@mail.ru*

*Пузынина Галина Георгиевна, кандидат биологических наук, профессор кафедры биологии и методики её преподавания*

*Ермолаева Анна Владимировна, ассистент кафедры биологии и методики её преподавания. E-mail: apita\_8608@mail.ru*

*Иванкова Анна Владимировна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры биологии и методики её преподавания. E-mail: jyrovskaja@mail.ru*

*Шерер Дмитрий Олегович, аспирант*

Для оценки уровня органического загрязнения водоёмов г. Ишима отбирали протистологические пробы из рек Ишим, Карасуль, старицы Ишимчик и проводили качественный и количественный анализ эвгленовых жгутиконосцев. Степень органического загрязнения данных водоёмов определяли путём подсчёта индекса сапробности, учитывая численность видов с разной индикаторной значимостью, частоту их встречаемости в водоёмах и пробах. Определение видовой принадлежности найденных животных проводили по имеющимся определителям.

**Результаты и обсуждение.** В результате химического анализа проб атмосферного воздуха выявлено очаговое повышение содержания угарного газа, превышающее ПДК в 1,6-

2,6 раз; очаговое повышение содержания диоксида азота в диапазоне от 1,2 до 21,2 ПДК; превышение допустимого значения эффекта суммации трёх газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ) (табл. 1). Очаговое повышение концентрации угарного газа можно объяснить неравномерной транспортной нагрузкой территории города, поскольку основным антропогенным источником  $\text{CO}$  в настоящее время служат выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания. Эффект суммации угарного газа, диоксида серы и диоксида азота максимально выражен на территориях с наиболее интенсивной транспортной нагрузкой (ж/д мост, ул. Республики, пересечение ул. Республики – Бригадная, ул. Чкалова – Ленина, ул. Артиллерийская – К.Маркса).

**Таблица 1.** Концентрация загрязняющих веществ в пробах атмосферного воздуха с территории г. Ишима

Места отбора проб	$\text{CO}$ , мг/м <sup>3</sup>	$\text{SO}_2$ , мг/м <sup>3</sup>	$\text{H}_2\text{S}$ ,м г/м <sup>3</sup>	$\text{NO}_2$ , мг/м <sup>3</sup>	Эффект сум- мации $\text{CO}$ , $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_2$ , мг/м <sup>3</sup>
городской парк	0	0	0,007	0	0
народный парк	0	0	0,007	0	0
пересечение ул. Артиллерийской и ул. Карла Маркса	10	0	0,007	0,1	3,6
железнодорожный мост	8	0	0,009	0,95	13
ул. Республики (р-н «Мясокомбината»)	1	0	0,008	0,5	6,5
пересечение ул. Республики и Бригадной	2	0,1	0,009	1,8	21,9
ул. Бригадная («р-н ПАТП»)	3	0	0,008	1	12,5
ул. Республики (р-н «ИК-6»)	2	0	0,009	1,2	14,6
ул. Республики (р-н «ОБ №4»)	1	0	0,009	0,7	8,48
ул. Большая (частный сектор)	0	0	0,009	0	0
ул. Омская, 1	0	0	0,008	0,1	1,17
завод ЖБИ	1	0	0,01	0,2	2,6
Ишимский машзавод	0	0	0,009	0,4	4,7
пересечение ул. Артиллерийской и ул. Большая Садовая	4	0	0,007	0,1	2,2
ул. Казанская (р-н «Берёзовая роща»)	0	0	0,009	0	0
коллективные сады (р-н с. Стрехнино)	0	0	0,009	0	0
пересечение ул. Чкалова-Ленина	13	0	0,008	0,3	6,78
р-н старицы «Ишимчик»	0	0	0,007	0	0
река Карасуль (р-н Стрехнино)	0	0	0,009	0	0
нормы максимально-разовых ПДК (мг/м <sup>3</sup> )	5	0,5	0,008	0,085	

В ходе цитогенетического анализа семенного потомства *Taraxacum officinale* выявлены достоверные различия по митотическим индексам между опытными и контрольным вариантами, как с учётом, так и без учёта профаз (табл. 2). Наиболее существенное снижение

профаз по сравнению с контролем наблюдается в районе мясокомбината. Известно, что при высоких уровнях стрессовых ситуаций наблюдается ингибирование митотического индекса [6]. В связи с тем, что митотический индекс у конкретного вида достаточно устойчивый

показатель, его изменения может отражать мутагенное действие на исследуемые объекты загрязнителей окружающей среды [2]. Значимые различия по сравнению с контролем выявлены в доле клеток, находящихся на стадии метафазы. По-видимому, эти явления связаны с изменением времени формирования веретена деления и задержкой клеток на стадии метафазы в связи с блокированием процессов расхождения

хромосом к полюсам, что следует рассматривать как механизм адаптации к стрессовым факторам среды и поддержания гомеостаза клеточной популяции. На опытных участках по сравнению с контролем достоверно выше частота аномалий в виде «Мостов» ( $P \leq 0,01$ ), что является показателем интенсивности репарационных событий, обеспечивающих адаптацию клетки к стрессовому воздействию [1, 9].

**Таблица 2.** Цитогенетическая характеристика семенного потомства одуванчика лекарственного из разных районов исследования

Цитогенетический показатель	Контроль	Центр города	Р-н Мясокомбината
	X±mx	X± mx	X±mx
митотическая активность с учетом профаз	6,4 ±0,02	5,3±0,02**	3,9±0,02*
митотическая активность без учета профаз	4,6±0,02	4,0±0,02**	3,1±0,01*
доля клеток на стадии профазы митоза	27,3±0,02	25,0±0,02	21,0±0,02
доля клеток на стадии метафазы митоза	16,01±0,01	30,0±0,02*	30,0±0,02*
доля клеток на стадии анафазы+ телофаза митоза	57,0±0,02	46,0±0,02	48,0±0,02
уровень мутаций	0,02±0,006	0,07±0,01*	0,14±0,01*

Примечание: \* - различие с контролем достоверно ( $P \leq 0,01$ ); \*\* - различие между опытными группами достоверны ( $P \leq 0,01$ ).

При оценке степени экологического своеобразия местообитаний важными характеристиками являются показатели относительного обилия и видового разнообразия позвоночных животных [3]. Орнитологические исследования показали, что видовое биоразнообразие птиц на территории г. Ишима в целом достаточно велико: выявлено 52 вида из 24 семейств и 10 отрядов. По количеству видов и числу особей преобладают Воробьинообразные (*Passeriformes*) (28 видов, 14 семейств). Исследуемые сообщества птиц в целом имеют структуру, характерную для орнитоценозов умеренной зоны. Наибольшие индексы видового богатства отмечены в сообществах птиц Народного парка ( $R=28,97$ ) и Берёзовой Рощи ( $R=19,18$ ), наименьшие – в железнодорожном парке ( $R=9,49$ ) и окрестностях мясокомбината ( $R=6,25$ ). Также распределяются и индексы видового разнообразия Шеннона (H) и Симпсона (D) (соответственно:  $H=2,6; 2,28; 1,25; 1,22; D=0,88; 0,85; 0,53; 0,62$ ). Доминирование сильнее всего проявляется в сообществах птиц железнодорожного парка и окрестностей мясокомбината ( $C=0,46; 0,37$ ), а выравненность – в Народном парке и Берёзовой роще ( $E=0,79; 0,82$ ). Наибольший индекс общей устойчивости отмечен для сообщества птиц Народного парка ( $U=3,01$ ), наименьший – железнодорожного парка ( $U=1,45$ ). Невысокие биоразнообразие, устойчивость и высокое доминирование в сообществе птиц железнодорожного парка при наличии удобных мест для питания, гнездования

и укрытия указывает на то, что из факторов урбанизации наибольшее влияние на орнитофауну оказывают беспокойство, шум и трансформация местообитаний.

Относительная численность мелких млекопитающих на исследуемой территории в 2011 г. оказалась максимальной за 4 последних года. Максимальные темпы воспроизводства и, соответственно, наибольшее относительное обилие этой группы животных отмечены в Народном парке – 32,57 экз./100 лов.сут, а наименьшие – в Берёзовой роще и железнодорожном парке – 0 экз./100лов.сут. Отсутствие мелких млекопитающих в выборках из Берёзовой рощи и железнодорожного парка на фоне их высокой численности в Народном парке указывает на пессимальный характер данных местообитаний в связи со значительной антропогенной нагрузкой. В уреме реки Ишим обилие микромаммалий составило 4,0 экз./100лов.сут. Очевидно, что восстановление численности мелких млекопитающих быстрее происходит в биотопах с лучшими кормовыми и защитными свойствами, граничащих с разнообразными естественными ландшафтами, и в последнюю очередь – на сильно трансформированных участках.

В Народном парке отловлены зверьки четырёх видов: *Clethrionomys rutilus*, *Microtus gregalis*; *Sorex araneus* и *Sorex minutes*, характеризующиеся средними индивидуальными индексами антропогенной адаптированности (от 7,4 у малой бурозубки до 11,1 у узкочерепной

полёвки). В урёме реки Ишим отловлены зверьки одного вида *Mus musculus*, характеризующегося максимальным среди мелких млекопитающих индивидуальным индексом антропогенной адаптированности (22,2). Интегральный показатель успешности размножения микротериоценоза Народного парка составил 4285,71; урёмы р. Ишим – 9999,99. Очевидно, что одним из механизмов адаптации сообществ мелких млекопитающих к трансформирующему действию городской среды являются высокие потенции к размножению, максимально реализующиеся у видов с высокой антропогенной адаптированностью.

Морфофизиологическое сравнение выборок самок-сеголеток обыкновенной бурозубки из Народного парка и окр. д. Синицино (16 км от города) показало, что городская выборка отличается достоверно большим индексом сердца ( $t=3,01$  при  $P<0,01$ ), печени ( $t=2,94$  при  $P<0,05$ ), надпочечника ( $t=2,35$  при  $P<0,05$ ) и меньшим относительным весом селезёнки ( $t=4,16$  при  $P<0,001$ ). Поскольку три первых признака характеризуют напряжённость функционально-энергетических систем организма, а вес надпочечника считается лучшим индикатором физиологического стресса, то можно предположить, что в урбанизированных местообитаниях популяции мелких млекопитающих находятся в состоянии функционального напряжения, требующего значительной мобилизации внутренних сил организма. Меньший индекс селезёнки в городской популяции бурозубок может быть обусловлен, с одной стороны, выбросом депонированной в селезёнке крови в кровотоки при токсических анемиях [5], обусловленных действием загрязняющих веществ, с другой стороны, снижением инвазированности гельминтами вследствие чувствительности последних к комбинированному токсическому загрязнению и усложнением реализации их жизненных циклов вследствие сокращения видовой биоразнообразия экосистем [8].

Фауна эвгленовых жгутиконосцев рек Ишим, Карасуль и старицы Ишимчик представлена в целом 29 видами, относящимися к 8 родам. Во всех водоёмах по количеству видов преобладает род *Euglena* (представленный соответственно 12, 7 и 6 видами). В пробах из р. Ишим обнаружено 22 вида эвгленид (75,8% от общего числа видов), численно доминируют виды *Euglena limnophila*, *Phacus pleuronectes*, *Ph. acuminatus*. По индексу сапробности р. Ишим является  $\alpha$ -мезосапробным водоемом ( $S=3,0$ ). Фауна эвгленид р. Карасуль значительно беднее и представлена 15 видами (51,7% от общего числа видов). Доминантами

по относительной численности выступают виды: *Euglena limnophila*, *Trachelomonas planctonica*. По индексу сапробности р. Карасуль относится к  $\alpha$ -мезосапробным водоемам ( $S=3,2$ ). Для старицы Ишимчик отмечено 15 видов эвгленовых жгутиконосцев. Наиболее часто встречается в пробах *Euglena oblonga*, а также представители бесцветных жгутиконосцев – *Entosiphon ovatus* и *Peranema trichophorum*. Расчёта индекса сапробности показывает, что старица Ишимчик –  $\alpha$ -мезосапробный водоем с тенденцией к полисапробности ( $S=3,4$ ).

#### Выводы:

1. Неравномерное распределение транспортных магистралей на территории г. Ишима обуславливает очаговые повышения содержания угарного газа и диоксида азота, превышающие ПДК; превышение допустимого значения эффекта суммации трёх газов ( $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ).

2. По видовому составу и численности эвгленовых жгутиконосцев водоёмы г. Ишима характеризуются альфа-мезосапробным (очень высоким) уровнем органического загрязнения.

3. Клеточными механизмами адаптации к комбинированному действию антропогенных факторов и поддержания цитогенетического гомеостаза являются снижение митотической активности, задержка клеток на стадии метафазы и повышение интенсивности репарационных процессов.

4. Население птиц и мелких млекопитающих на территории г. Ишима распределено неравномерно; видовое разнообразие и устойчивость сообществ птиц и млекопитающих снижаются по мере увеличения комбинированного антропогенного воздействия.

5. Адаптивным популяционным ответом мелких млекопитающих на урбанизацию является мобилизация функционально-энергетических систем организма.

6. На уровне сообществ адаптивный ответ проявляется в изменении структуры и возрастной в сообществах численности экологически пластичных, антропофильных видов и интенсификации процессов размножения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Акоюн, Э.В. Влияние различных типов ионизирующих излучений на возникновение хромосомных аберраций у гороха. I. Пострадиационное восстановление // Генетика. 1967. Т. 3, № 5. С. 45-51.
2. Буторина, А.К. Влияние промышленных сточных вод на цитогенетические показатели берёзы повислой / А.К. Буторина, Т.В. Вострикова, Л.И. Бельчинская, Л.В. Кондратьева // Лесное хозяйство. 2005. № 6. С. 27-28.

3. *Гаишев, С.Н.* Конспекты лекций по системной экологии. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. 212 с.
4. *Дубинина, Л.Г.* Структурные мутации в опытах с *Speris capillaries* L. – М.: Наука, 1978. 188 с.
5. *Комахидзе, М.Э.* Селезенка. – М.: Наука, 1971. 253 с.
6. *Крышев, И.И.* Радиоактивное загрязнение районов АЭС / И.И. Крышев, Р.М. Алексахин, И.И. Рябов, С.В. Фесенко. – М.: Ядерное общество СССР, 1990. 150 с.
7. *Лакин, Г.Ф.* Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. 343 с.
8. *Левых, А.Ю.* Морфолого-генетическая структура популяций разных видов мелких млекопитающих на юге Тюменской области и биотопические особенности её формирования // Экологический мониторинг и биоразнообразие. 2007. Т. 2, №1. С. 142.
9. *Симаков, Е.А.* О пострадиационном восстановлении цитогенетических повреждений в проростках семян форм картофеля // Радиобиология. 1983. Т. 23, № 5. С. 706.
10. *Шварц, С.С.* Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. – Свердловск, 1968. 387 с.

## **ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL MONITORING OF URBOECOSYSTEMS**

© 2011 A.Yu. Levykh, G.G. Puzynina, A.V. Yermolaev, A.V. Ivankova, D.O. Sherer

Ishimsky State Pedagogical Institute named after of P.P. Ershov

In article results of chemical and bioindicator analysis of land and water ecosystems in Ishim town are discussed. As bioindicators birds, small mammals, *Taraxacum officinale*, *Euglenoidea* are used.

Key words: *bioindication, population, pollution, ecosystem, cotesting*

---

*Alyona Levykh, Candidate of Biology, Associate Professor at the Department of Biology and Technique of its Teaching. E-mail: aljurlev@mail.ru*

*Galina Puzynina, Candidate of Biology, Professor at the Department of Biology and Technique of its Teaching*

*Anna Yermolaeva, Assistant at the Department of Biology and Technique of its Teaching. E-mail: anuta\_8608@mail.ru*

*Anna Ivankova, Candidate of Biology, Assistant at the Department of Biology and Technique of its Teaching.*

*E-mail: jyrovskaja@mail.ru*

*Dmitriy Sherer, Post-graduate Student*