

УДК 598/1:591.505

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМФИБИЙ И РЕПТИЛИЙ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Петров В.С., Шарыгин С.А.

В последние годы вопросы охраны биосферы от загрязнения привлекают пристальное внимание исследователей. Большой интерес представляет изучение процессов адаптации животных к различным антропогенным факторам по сравнению с адаптациями в естественных условиях (Большаков, Смирнов, 1978).

Метод биологической индикации полезных ископаемых и типов почв с помощью растений-индикаторов широко известен благодаря работам геоботаников и геохимиков и давно применяется (Виноградов, 1964). В отношении животных этот вопрос изучен слабее (Ковальский, 1974). По индикационному значению диких животных, в частности наземных позвоночных, данных совсем мало.

Некоторые животные способны усваивать и накапливать микроэлементы из окружающей среды. Значительный интерес представляет исследование нормальной динамики содержания и распределения микроэлементов в организме таких групп, как амфибии и рептилии, поскольку они являются одними из наименее изученных в эколого-физиологическом отношении животных. Есть много оснований полагать, что интенсивные антропогенные воздействия на природу в промышленных районах существенно изменяют микроэлементный фон среды. Для определения загрязнений недостаточно установить концентрацию того или иного элемента в почве, воде, воздухе, нужно выяснить его содержание, прежде всего в живых организмах, в которых он накапливается и влияет на их физиологию. Часто бывает, что при определении предельно допустимых концентрации токсичных элементов не учитывается их миграционная способность в биосфере и их аккумуляция организмами. В этом случае помогают биологические индикаторы. Например, в США змеи уже

используются для индикации загрязнения окружающей среды (Bauerle e. a., 1975).

Исследованиями С.С. Шварца (1954) выяснено, что медь и никель влияют на относительный вес внутренних органов. Относительный вес печени является особенно ярким показателем содержания микроэлементов в среде обитания позвоночных. Нами была показана зависимость изменчивости окраски крымской ящерицы (*Lacerta taurica taurica* Pall.) от содержания в среде обитания марганца, меди и никеля (Шарыгин, Корженевский, Фирсов, 1979). Известна важная роль минерального питания животных в различных географических условиях.

В 1978—1979 гг. нами проводилось изучение содержания макро- и микроэлементов в организме амфибий и рептилий. Было использовано в общей сложности 1072 экземпляра амфибий и рептилий, отловленных в основном в 1966—1979 гг. в Горьковской области и на южном берегу Крыма. Применялся метод эмиссионного спектрального анализа на спектрографе ДФС-8 с предварительным сухим озолением, позволяющий определять одновременно значительное число элементов (Верболович, Егорова, 1969). Изучен химический состав целого организма, органов и тканей 34 видов амфибий и рептилий, в которых обнаружено от 19 до 32 химических элементов. Установлен состав их печени, кожи, костей, мышц, гонад, желудков. Изучена половая, возрастная, географическая изменчивость содержания микроэлементов в организме амфибий и рептилий. Всего проанализировано 428 проб. Установлены различия химического состава организма амфибий и рептилий в природных биотопах и на урбанизированных территориях по некоторым элементам, что дает право предполагать наличие связи между влиянием антропогенных факторов, и физиологией этих животных. Это дает также возможность по их составу определять степень загрязнения среды в местах обитания (Шарыгин, 1979).

Амфибии и рептилии в крупных городах и промышленных районах живут в условиях, когда в окружающую среду поступает много элементов из техносферы. Нами была поставлена задача при помощи зооиндикации обнаружить антропогенные загрязнения среды в первую очередь тяжелыми металлами. При изучении содержания микроэлементов в организме остромордой лягушки (*Rana arvalis* Nilss.) обнаружено, что концентрация свинца у лягушек из города в 8 раз больше, чем из природных биотопов (Шарыгин, 1980). Это говорит о загрязненности свинцом в условиях населенных пунктов. Сходные данные получены при изучении содержания свинца и олова у прытких ящериц (*Lacerta agilis exilgua* Eich.) в Горьковской

и у скальной ящерицы (*Lacerta saxicola lindchholmi* Lantz.) в Крыму.

Отдельные органы и ткани рептилий также могут быть индикаторами загрязнения среды. В костях и коже прыткой ящерицы из города больше свинца, чем у ящериц из сельской местности. Интересные результаты получены при сравнении химического состава организма разных видов амфибий и рептилий из наиболее загрязненных мест и всей выборки в данном районе в целом. Такое сопоставление вызвано тем, что при обычной статистической обработке антропогенная составляющая внешней среды теряет свою выпуклость и ее воздействие на состав организма трудно выделить. Нами обнаружено, что у прытких ящериц, отловленных в загрязненных, местах крупного города, имеются статистически достоверные различия по содержанию в организме 15 элементов по сравнению с ящерицами из других мест. Только по 3 элементам разница недостоверна. Для крымской ящерицы обнаружено различие по 14 элементам, для выборок из заповедника и населенного пункта, для скальной ящерицы - по 12, для разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Str.) — по 10, для крымского геккона (*Gymnodactylus kotschy danilewskii* Str.) — по 5 элементам (см. табл.). Полученные данные дают возможность установить связи между химическим составом организма амфибий и рептилий и их популяционной изменчивостью в условиях загрязненных биотопов на урбанизированных территориях. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что метод биологических индикаторов загрязнения среды с помощью рептилий, особенно синантропных видов ящериц, может довольно полно отражать изменения состояния экосистем в городах под действием комплекса антропогенных факторов. В качестве биологических индикаторов из рептилий в условиях, например, г. Горького лучше всего использовать прыткую ящерицу, а на южном берегу Крыма — крымского голопалого геккона. По-видимому, эти виды довольно быстро реагируют на изменения состава окружающей среды и или приспособляются, как прыткая ящерица, или постепенно исчезают, как крымский геккон. Эти тенденции можно будет проследить по изменению химического состава их организма. На следующем этапе исследований намечено определить концентрации микроэлементов в среде обитания, при которых в организме рептилий в условиях города будут проявляться патологические изменения.

Сходная картина наблюдается и при исследовании амфибий. При сравнении животных из загрязненных промышленными отходами и чистых мест у остромордой лягушки обнаружены достоверные различия по содержанию в организме 15 элементов, у травяной (*Rana temporaria* L.)—6, у прудовой (*Rana esculenta* L.)—6, у озерной (*Rana ridibunda* Pall.)—16, у зеленой

Таблица

Значения критерия Стьюдента (t) при сравнении среднего содержания макро- и микроэлементов в целом организме некоторых видов амфибий и рептилий, отловленных в природе и в населенных пунктах (P=0,95)

№№ п/п	Виды (n ₁ —n ₂)	Элементы						
		Al	Ca	Mg	Fe	Ti	Mn	Cr
1	<i>Lacerta agilis</i> (80—22)	4,91	3,67	9,53	10,83	15,38	5,29	23,16
2	<i>Lacerta taurica</i> (36—10)	8,80	1,82	0,02	4,52	4,59	3,75	30,20
3	<i>Lacerta saxicola</i> (32—8)	2,20	7,11	6,60	0,75	4,11	0,32	2,59
4	<i>Eremias arguta</i> (20—6)	5,63	4,17	5,33	1,99	0,54	7,50	2,99
5	<i>Gymnodactylus kotschy</i> (10—3)	3,25	1,82	6,67	1,67	0,90	1,00	11,09
6	<i>Rana arvalis</i> (38—11)	10,86	4,95	5,80	2,18	11,75	6,96	3,49
7	<i>Rana temporaria</i> (16—4)	2,23	1,07	2,90	6,75	0,55	3,26	1,69
8	<i>Rana esculenta</i> (7—3)	3,31	2,86	3,64	0,49	2,86	0,62	0,35
9	<i>Rana ridibunda</i> (12—4)	6,50	3,47	2,87	3,50	8,66	3,41	9,45
10	<i>Bufo viridis</i> (14—5)	2,33	2,80	1,72	0,87	6,36	7,42	3,37

Продолжение таблицы

№ п/п	Элементы													
	Ni	Cu	Ag	Zn	Sn	Pb	Sr	Li	Ba	Mo	Zr	V	Bi	Ce
1	6,52	20,50	11,00	7,40	1,16	8,20	24,60	0,58	1,18	—	2,97	0,80	—	4,0
2	25,95	11,61	0,18	3,93	1,91	2,49	3,67	—	6,78	2,99	2,80	4,78	10,99	—
3	2,37	2,26	1,66	4,77	0,02	0,41	1,72	—	2,42	1,99	7,50	2,50	1,49	—
4	0,97	2,94	22,20	1,45	2,38	8,25	3,50	—	1,17	—	1,95	—	—	—
5	0,32	0,96	0,49	11,75	3,58	6,08	—	—	1,49	—	—	0,46	3,99	—
6	11,47	11,01	10,50	3,92	0,03	11,70	12,00	3,93	3,66	—	—	—	—	—
7	1,66	0,10	0,49	1,27	2,69	8,33	—	—	1,00	—	—	—	—	—
8	1,03	6,06	0,49	0,73	2,20	2,61	—	—	—	—	—	—	—	—
9	9,68	2,75	3,49	7,34	7,00	7,11	2,01	3,19	—	3,48	1,00	—	—	—
10	1,03	6,43	3,99	8,71	—	3,94	5,44	0,18	0,95	0,88	0,91	—	—	0,90

Примечание. Сравнивались средние значения концентраций для всей выборки данного вида (n_1) и нескольких проб, взятых в антропогенных биотопах, наиболее сильно подвергавшихся промышленному и бытовому загрязнению (n_2). Подчеркнуты достоверные значения (для $P=0,95$).

жабы (*Bufo viridis* Laur.) — 10, у чесночницы (*Pelobates fuscus* Laur.) — 1 элемента, гребенчатого тритона (*Triiurus cristatus* Laur.) — 6 элементов. При сопоставлении состава почв в местах обитания установлено, что загрязненные места в черте города (свалка, стоки), по сравнению с чистыми, различаются по содержанию в почве 20 элементов, то есть большинства обнаруженных.

Наибольшее количество свинца обнаружено в печени зеленой жабы. Оно превышает содержание свинца в печени остромордой лягушки в 5 раз, а озерной лягушки — в 50 раз. Видимо, это связано с тем, что зеленая жаба — самое выносливое в условиях городов земноводное. Олова в печени зеленой жабы в 70 раз больше, чем у озерной лягушки, но меди в 10 раз меньше. Из всех видов амфибий наибольшее количество олова и свинца в костях и в мышцах было найдено у зеленой жабы. В яичниках наибольшее количество свинца у прудовой лягушки и прыткой ящерицы. В целом можно заключить, что наилучшим индикатором загрязнения в условиях города при сравнении с сельской местностью является зеленая жаба.

Некоторые ящерицы могут служить в условиях населенных пунктов индикаторами загрязнения воздуха. В частности, нами было обнаружено, что в организме крымских гекконов, обитающих вдоль автомобильной дороги, содержание свинца достигает 0,1% на вес золы, а вдали от нее — в 8 раз меньше. Это явление объясняется тем, что к автомобильному бензину в качестве антидетонационного средства добавляется тетраэтилсвинец. После сгорания топлива соединения свинца выбрасываются с выхлопными газами в атмосферу и включаются в биотический круговорот. Наибольшее количество свинца встречается в организме крымских и скальных ящериц, взятых из мест, наиболее затронутых антропогенным воздействием. Однако гекконы являются лучшими индикаторами загрязнения среды, поскольку они живут очень часто у жилья человека. В условиях Горного Крыма концентрация свинца в организме гекконов из некоторых мест на порядок превышает среднее содержание этого токсичного для данного вида элемента в природных биотопах. При сопоставлении среднего содержания свинца в целом организме ящериц (на сухое вещество) образуется ряд, хорошо отражающий степень синантропности этих видов: крымский геккон (75,3 мг/кг) — крымская ящерица (7,27 мг/кг) — скальная ящерица (4,6 мг/кг) — прыткая ящерица (1,95 мг/кг) — разноцветная ящурка (1,46 мг/кг).

Свинец встречается в основном у лягушек из городских выборок, что говорит об антропогенном загрязнении этим элементом. Его средняя концен-

трация в организме колеблется от 0,75 мг/кг в сельской местности до 37,5 мг/кг в районах города с интенсивным автомобильным движением.

Было обнаружено, что в организме озерных лягушек из прудов и озер в черте города почти не встречается молибден, который в организме озерных лягушек, живущих в р. Волге, присутствует в концентрации 1 мг на 1 кг сухого вещества. В то же время содержание олова у лягушек из Волги достигает лишь 2 мг/кг, а у озерных лягушек из городских водоемов превышает 40 мг/кг, что говорит о присутствии сточных вод промышленности. Как уже было указано, свинец из выбросов двигателей автомашин концентрируется вокруг автострад. Нами обнаружено, что в организме остромордых лягушек, живущих вблизи автотрасс с интенсивным движением, содержание свинца достигает 50 мг/кг сухого вещества, в то время как в других биотопах — лишь 7 мг/кг. Оказалось, что сеголетки травяной лягушки, выросшие на «полях орошения» очистных сооружениях, накапливают в себе до 12 мг/кг свинца, а в других, незагрязненных, биотопах — только 2,5 мг/кг. В организме прыткой ящерицы максимальное содержание никеля зарегистрировано в городе — до 6 мг/кг, а в сельской местности — 2 мг/кг. Аналогичная картина и по хрому — до 40 и 2,6 мг/кг для городской и сельской местности соответственно.

В организме прудовых лягушек, обитающих за городом, не найдены олово и свинец, обнаруженные у лягушек из городских водоемов (соответственно до 2 и 5 мг/кг). Висмут у остромордой лягушки зарегистрирован только в городских популяциях (до 2,7 мг/кг). При сравнении среднего содержания свинца в целом организме амфибии можно наблюдать такой ряд: чесночница (7,5 мг/кг) — остромордая лягушка (5,25 мг/кг) — зеленая жаба (4,72 мг/кг) — травяная лягушка (4,45 мг/кг) — прудовая лягушка (3,17 мг/кг) — озерная лягушка (1,8 мг/кг). Больше всего свинца у наземных видов. Эти данные говорят о том, что результаты исследования динамики содержания микроэлементов в организме амфибии и рептилий могут в будущем быть использованы для обнаружения промышленного загрязнения в биогеоценозах. Методы такой зооиндикации нуждаются еще в дальнейшей разработке, но опыт использования амфибии и рептилии позволит существенно дополнить картину антропогенной трансформации экосистем в условиях крупных промышленных центров. С помощью зооиндикации можно будет проследить одновременно и физиологические реакции животных на загрязнение и выработать действенные меры их охраны в загрязненных биотопах.

Таким образом, результаты исследований содержания динамики микроэлементов в организме амфибий и рептилий могут быть использованы в построении системы экологического мониторинга на урбанизированных террито-

риях. Практическое значение настоящей работы заключается в том, что на основе полученных результатов разработан метод биологической (в данном случае зоологической, а точнее герпетологической) индикации загрязнения окружающей среды в условиях городов путям анализа содержания макро- и микроэлементов в организме амфибий и рептилий. В сочетании с чисто техническими методами обнаружения загрязнений он может найти широкое применение.

ЛИТЕРАТУРА

Большаков В.Н., Смирнов Н.Г. Роль некоторых антропогенных факторов в увеличении темпов микроэволюции. — В кн.: Эволюционная теория и проблема «Человек — природа». Тарту, 1978, с. 36—41.

Верболович Н.А., Егорова З.Д. Влияние условий существования на содержание микроэлементов в органах и тканях некоторых представителей пресмыкающихся. — В кн.: Материалы IV Конференции физиологов республик Средней Азии и Казахстана. Алма-Ата, 1969, с. 59—61.

Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М., Наука, 1964, 328 с.

Ковальский В.В. Геохимическая экология. М., Наука, 1974, 299 с.

Шарьгин С.А. Влияние антропогенных факторов на герпетофауну в условиях промышленных городов. — Информационные материалы/Институт экологии растений и животных/Уральский научный центр АН СССР. Свердловск, 1979, с. 10—11.

Шарьгин С.А. Содержанке микроэлементов в организме остромордой лягушки. — В кн.: Материалы к III Всесоюзному совещанию «Вид и его продуктивность в ареале». Вильнюс, 1980, с. 78—80.

Шарьгин С.А., Корженевский В.В., Фирсов С.А. К геохимической экологии крымской ящерицы. - Экология, 1979, № 5, с 82— 8р.

Шварц С. С. Влияние микроэлементов на животных в естественных условиях рудного поля. — Труды/Биогеохимическая лаборатория/АН СССР, 1954, с. 10, с. 76—81.

Bauerle B., Spencer D., Wheeler W. The use of snakes as a pollution indicator species. — *Copeia*, 1975, № 2, p. 366—368.