

УДК 632.95.028

РОЛЬ ПОЗВОНОЧНЫХ В БИОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИМИ ПЕСТИЦИДАМИ

Н. А. Шебунина, О. В. Маслова

Институт зоологии НАН Украины, ул. Б. Хмельницкого, 15, Киев-30, ГСП, 01601 Украина

Получено 25 мая 1998

Роль позвоночных в биоиндикации загрязнения среды хлорорганическими пестицидами. Шебунина Н. А., Маслова О. В. — В работе представлены данные о накоплении хлорорганических пестицидов в абиотической среде и биоте. Рассчитаны коэффициенты накопления и коэффициенты межуровневого накопления пестицидов, которые можно использовать в биоиндикации. Предложены оригинальные решения эффективного поиска организмов-индикаторов. Приведены данные по изменению белкового обмена у вида-индикатора — лесной мыши (*Apodemus sylvaticus* Linneus, 1758), у которой существенно снижено содержание коллагена в костях позвоночника. При выборе вида-индикатора рекомендовано учитывать его биологические особенности.

Ключевые слова: биоиндикация, коллаген, грызуны.

Role of Vertebrates in the Bioindication of the Environmental Pollution by Organochlorine Pesticides. Shebunina N. A., Maslova O. V. — The work concerns data on the accumulation of organochlorine pesticides in the abiotic environment and the biota. Calculations have been made of the accumulation coefficient and of the inter-level accumulation coefficient, which may be used for bioindication purposes. Proposals have been made for an original solution of the efficient search of indicator organisms. Data are presented on changes of physiological and biochemical indices of the organism of rodents, particularly of the forest-mouse (*Apodemus sylvaticus* Linneus, 1758), selected as the species-indicator which shows a significant decrease of the content of collagen in spine bones. When choosing the species-indicator, it is recommended to take into consideration its biological peculiarities.

Key words: bioindication, collagen, rodents.

Введение

Одним из факторов, лимитирующих численность популяций, является химическое загрязнение среды их обитания. К числу наиболее опасных для биоты химических соединений отнесены и некоторые стойкие хлорорганические пестициды (ХОП) — ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ (гексахлорциклогексан), дилдрин и др., которые способны кумулироваться в организме животного и воздействовать на его генетическую структуру. Масштабы их производства и использования увеличиваются за счет применения в сельском хозяйстве развивающихся стран (Farwar, Wasif, 1976). Побочные и отдаленные последствия циркуляции ХОП в экосистемах остаются малоизученными.

Глобальное загрязнение природной среды привело к необходимости организации системы контроля за ее состоянием — экологического мониторинга, одной из основных проблем которого является выбор показателей, по которым можно судить о состоянии объекта исследований. Усилия исследователей направлены, в основном, на поиск видов-индикаторов, чувствительных к тем или иным поллютантам, и изучение их ответной реакции (Злобин и др., 1982). При выборе видов-индикаторов необходимо учитывать следующее:

1. Они должны кумулировать пестициды в количествах, во много раз превышающих их содержание в окружающей среде. Виды, содержащие небольшие остаточные количества, не подходят для целей мониторинга, поскольку снижение уровня загрязненности среды может понизить концентрацию пестицида в организме до величины, не определяемой современными методами анализа. В то же время виды с очень высоким содержанием токсиканта также не могут служить индикаторами, так как увеличение загрязнения среды может привести к интоксикации животных.

2. Для ХОП средние значения остатков в организме животных-индикаторов должны быть в пределах нескольких миллиграммов на 1 кг сырого веса ткани.

3. Индикаторами могут служить наиболее многочисленные виды животных в связи с тем, что отбор из популяции должен быть достаточным для получения статистически достоверных данных и в то же время не причинять существенного вреда популяции.

4. В тех случаях, когда необходимо измерить уровни локального загрязнения, более подходят виды с узкими индивидуальными участками. Для характеристики фонового загрязнения большой территории могут быть использованы виды с обширными индивидуальными участками. Однако в любом случае ареал распространения вида-индикатора должен быть известен.

5. При выборе вида-индикатора необходимо учитывать особенности питания, поскольку в организм животных основная масса пестицидов попадает с кормом. При продвижении по трофическим цепям концентрации ХОП увеличиваются в каждом последующем звене, поэтому пищевая специализация вида-индикатора может характеризовать уровень загрязнения определенного сегмента трофической сети (Moore, 1966; Воронова и др., 1977).

При проведении мониторинга важен выбор не только показателей загрязнения среды, но и показателей, по которым можно было бы судить о силе ответной реакции на это загрязнение биологических систем разного уровня организации. В качестве последних в настоящее время все шире используются физиолого-биохимические тесты, по которым можно судить о состоянии организма, а при достаточном количестве материала — и о состоянии популяции.

Установление зависимости степени изменения биологических характеристик организма от уровня загрязненности абиотической среды позволяет составить представление о состоянии исследуемых биоценозов, а накопление подобных данных в течение ряда лет явилось бы мониторингом загрязнения. Цель настоящего исследования — получение информации о состоянии некоторых видов наземных позвоночных, обитающих в условиях фонового загрязнения среды стойкими ХОП (ДДТ и его метаболитами ДДД и ДДЭ, ГХЦГ), а также поиск и обоснование показателей для мониторинга загрязнения исследуемых биоценозов.

В ходе выполнения работы решались следующие задачи: 1) определение уровней накопления остатков ХОП в абиотической среде и биоте исследованных заповедных территорий; 2) изучение закономерностей миграции этих токсикантов, включая количественную характеристику их распределения и трансформации в основных компонентах исследованных экосистем; 3) выявление зависимости между накоплением ХОП и вызываемыми им физиолого-биохимическими изменениями в организме мышевидных грызунов и птиц; 4) поиск видов-индикаторов загрязнения исследованных заповедных биоценозов.

Материал и методы

Исследования проводили в 1985–1989 гг. на территории заповедников "Михайловская целина", "Росточье", Черноморского государственного биосферного и Карпатского заповедников.

Объектом исследования послужили почва, растения (разнотравье), 6 видов беспозвоночных: виноградная улитка (*Helix pomatia* L.), личинка рыжей павлиноглазки (*Agria tau* L.), шелкоун серый (*Agryphus murinus* L.), американская белая бабочка (*Hyphantria cunea* Drury), крылатый жнец (*Messor clivorum* L.), муха береговушка (*Ephydria* sp.); амфибии 3 видов: прудовая лягушка (*Rana esculenta* L.), пятнистая саламандра (*Salamandra salamandra* L.), карпатский тритон (*Triturus montandoni* Boul.); из насекомых — землеройка обыкновенная (*Sorex araneus* L.); грызуны 5 видов: рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus* (Schreber), серый хомячок (*Cricetulus migratorius* (Pall.)), лесная мышь (*Apodemus sylvaticus* L.), полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pall.), желтогорлая мышь (*Apodemus flavicollis* (Melchior)); птицы 5 видов: полевой воробей (*Passer montanus* (L.)), скворец (*Sturnus vulgaris* L.), ласточка деревенская (*Hirundo rustica* L.), сорока (*Pica pica* L.), серая ворона (*Corvus corax* L.).

Всего было добыто 207 особей животных. Методом газовой хроматографии (Хроматография в биологии и медицине, 1983) проанализировано около 1200 биообразцов.

В качестве физиолого-биохимического теста использован один из показателей белкового обмена позвоночных — содержание коллагена в костях позвоночника.

Майер с соавторами (Maier et al., 1975, 1977), Шоттгер (1979) показали, что хроническое действие сублетальных концентраций ХОП значительно снижает содержание коллагена в позвоночнике животных. Установлено, что подобная реакция специфична при интоксикации хлорорганическими соединениями и поэтому может служить тестом на отравление организма этими веществами.

Количество коллагена в костях позвоночника грызунов определяли по Мерлу и Майеру (Merhle, Maier, 1975). Полученные данные обработаны статистически (Плохинский, 1961; Францевич, 1979).

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования позволили изучить накопление стойких ХОП в основных компонентах экосистем 4 заповедников Украины. Остатки ХОП обнаружены во всех проанализированных пробах.

Содержание ХОП в почве и растениях обследованных территорий не превышает предельно допустимых концентраций. Накопление остатков ДДТ в рас-

тениях на 1–3 порядка выше, чем в почве, ГХЦГ — на 3 порядка. Наименее загрязнены почва и растения Карпатского заповедника ($8,0 \times 10^{-8}$ и $6,1 \times 10^{-5}$ мг/кг, соответственно), далее, по возрастающей, идут ЧГБЗ и "Росточье", а наибольшие количества ХОП обнаружены в почве и растениях заповедника "Михайловская целина" ($1,4 \times 10^{-5}$ и $5,0 \times 10^{-3}$ мг/кг, соответственно). Вероятно, уровень загрязненности этих территорий зависит от удаленности от них районов сельскохозяйственного производства.

Данные по метаболизму ХОП в компонентах исследованных экосистем свидетельствуют о том, что их загрязнение этими веществами продолжается, поскольку во многих проанализированных пробах присутствовал ДДТ в неразложившемся виде. Постоянный привнос пестицидов в биоценозы происходит, вероятно, вследствие глобального переноса или же локального загрязнения.

Содержащиеся в почве стойкие ХОП накапливаются в организме растений и животных, занимающих разные трофические уровни. Мигрируя в трофических цепях, эти токсиканты кумулируются в высших звеньях в концентрациях, в тысячи и сотни тысяч раз превышающих их содержание в почве (табл. 1, 2). Так, в пищевой цепи "почва–растение–организм мышевидных грызунов" концентрация ДДТ повышается в тысячу и более раз в каждом последующем звене. То же наблюдается в пищевых цепях "почва — насекомые — птенцы и взрослые птицы" (скворец, полевой воробей, деревенская ласточка, сорока, серая ворона) и "почва — насекомые — насекомоядные звери" (землеройка обыкновенная). Наглядное представление о том, как происходит накопление токсиканта в трофических цепях исследованных экосистем дают коэффициенты накопления, т. е. отношение количества препарата в организме животного определенного трофического уровня к его содержанию в почве (табл. 3).

Данные о содержании, метаболизме и миграции ХОП в различных компонентах экосистемы позволяют получить детальное представление о ее состоянии и поэтому их можно использовать в качестве показателей при мониторинге загрязнения природной среды. Однако подобные исследования очень громоздки, требуют проведения сотен анализов, использования сложного оборудования и дорогостоящих реактивов, а также больших затрат времени.

Важной задачей является поиск организмов-биоиндикаторов, которые могли бы служить показателями загрязнения среды обитания, т. к. с помощью химико-аналитических методов не всегда можно определить малые концентрации токсикантов; кроме того виды-индикаторы позволяют не только зафиксировать факт загрязнения природной среды, но и получить оценку возможных последствий (Неронов, 1983).

Поэтому следует выбирать виды-индикаторы загрязнения среды обитания по химическим показателям, т. е. по концентрации ХОП в организме, учитывая при этом принадлежность вида к тому или иному трофическому уровню. В принципе любой организм, отвечающий основным требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам, может служить индикатором загрязнения, причем, чем

Таблица 1. Содержание суммарного ДДТ в некоторых компонентах заповедных экосистем, $\times 10^{-8}$ мг/кг

Table 1. Content of total DDT in some components of nature reserve ecosystems, $\times 10^{-8}$ mg/kg

Объект исследования	Заповедник			
	Карпатский	ЧГБЗ	Росточье	Михайловская целина
Почва	8±1	0±7	20±10	1400±400
Растения	6100±33	24000±500	73000±1150	500000±9700
Насекомые	3600000±8000	6900000±200000	3400000±400000	48000000±2000000
Амфибии	2700000±800000	—	6400000±4000000	—
Насекомоядные	4200000±600000	1141000000±23000000	95000000±42000000	—
Грызуны	1460000±630000	142000000±11000000	101000000±6000000	106000000±1000000
Птицы	—	204000000±3000000	—	—

Таблица 2. Содержание суммарного ДДТ в некоторых компонентах экосистемы Черноморского биосферного заповедника

Table 2. Content of total DDT in some components of the ecosystems of the Black Sea Biosphere Reserve

Объект исследования	n	Органы, ткани	Содержание препарата, мг/кг
Почва	10		0,0 ± 0,0
Растения (разнотравье)	10		0,0 ± 0,0
Моллюски (слизни)	10		0,139±0,011
Насекомые	10		0,069±0,005
Серый хомячок	6	мозг	0,596± 0,083
	6	жир	1,415±0,500
	6	гонады	0,520±0,180
Лесная мышь	9	мозг	0,326±0,115
	9	жир	0,980±0,101
	9	гонады	0,276±0,065
Полевая мышь	12	мозг	0,318±0,100
	12	жир	1,130±0,341
	12	гонады	0,430±0,061
Полевой воробей (птенцы)	10	мозг	0,166±0,024
	10	жир	2,567±0,229
Полевой воробей (взрослые)	7	мозг	0,164±0,010
	7	жир	15,043±0,831
	7	гонады	1,728±0,092
Скворец (птенцы)	6	мозг	0,074±0,008
	6	жир	1,248±0,050
Скворец (взрослые)	7	мозг	1,248 ± 0,050
	6	жир	15,51±2,276
	6	гонады	0,747± 0,130
Ласточка деревенская	6	мозг	0,549±0,068
	6	жир	5,470±0,426
	6	гонады	0,880±0,176
Серая ворона (птенцы)	6	мозг	0,044±0,008
	6	жир	0,664±0,066
Серая ворона (взрослые)	7	мозг	0,183±0,029
	7	жир	2,040±0,492
	6	гонады	0,934±0,238
Сорока (птенцы)	6	мозг	0,550±0,007
	6	жир	0,258±0,002
Землеройка обыкновенная	9	мозг	0,990±0,321
	6	жир	1,410±0,446
	6	гонады	0,400±0,058

более высокого порядка консументом он является, тем более интегрированную оценку состояния биоценоза можно с его помощью получить. Однако следует иметь в виду, что не всегда у животных, занимающих один трофический уровень, концентрации ХОП в организме выражаются величинами одного порядка. Иногда они различаются более чем в 10 раз. Например, у желтогорлой мыши как из Карпатского заповедника, так и из заповедника "Росточье", содержание ДДТ во всех тканях было на порядок, а в мозге — на 2 порядка выше, чем у рыжей полевки. У карпатского тритона и пятнистой саламандры в Карпатском заповеднике — животных, занимающих один трофический уровень, — концентрации ХОП также различались на порядок. То же наблюдалось и в ЧГБЗ у птиц одного вида, но разных возрастов: птенцы, поедая в 5 раз больше корма (Познанин, 1979), кумулируют гораздо меньшие количества ХОП, чем взрослые птицы.

Столь существенные различия в концентрациях ХОП в организме животных одного трофического уровня можно объяснить следующим. Являясь консументами одного порядка, животные разных видов, а в пределах вида — разных возрастов, имеют неодинаковые размеры, обладают различными степенями подвижности и, вследствие этого, различными уровнями обмена веществ. Известно,

Таблица 3. Коэффициенты накопления суммарного ДДТ в некоторых компонентах заповедных экосистем

Table 3. Accumulation factors of total DDT in some components of nature reserve ecosystems

Объект исследования	Заповедник			
	Карпатский	ЧГБЗ	Росточье	Михайловская целина
Почва	1	1	1	1
Продуценты: растения	762	2400	2650	357
Консументы I порядка:				
насекомые	45000	690000	170000	34286
грызуны	1730000	9800000	7250000	218571
Консументы II порядка:				
амфибии	131250		3200000	--
насекомоядные	1112500	14100000	9750000	--
птицы		204000000	---	---

что чем мельче и подвижнее животное, тем более высоким уровнем обменных процессов оно обладает. Так, например, у рыжей полевки (средняя масса тела 24 г) показатели обмена значительно выше, чем у желтогорлой мыши (средняя масса тела 32 г) и соответственно равны 4,29 и 3,37 см³/г-час потребляемого кислорода. Вероятно, можно говорить и о зависимости процессов накопления, метаболизма и выведения токсикантов от интенсивности обменных процессов в организме: чем этот показатель выше, тем быстрее идет процесс разложения и выведения, тем меньше количества кумулируются в организме. Вышеизложенное объясняет обнаруженные различия в накоплении ХОП в организме животных одного трофического уровня.

Таким образом, в пределах одного трофического уровня индикаторными следует выбирать виды или возрастные группы, обладающие более низким уровнем обмена веществ, кумулирующие вследствие этого наибольшие количества ХОП. Так, у мышевидных грызунов, которые для большинства территорий Украины являются фоновыми видами, (предложенными Л. Ф. Васюковской (1985) в качестве индикаторных), предпочтение следует отдавать мышам, а не полевым, как более крупным животным, обладающим пониженным уровнем обменных процессов по сравнению с полевыми и, вследствие этого, кумулирующим в своем организме значительно большие количества ХОП. Для характеристики локальных загрязнений среди мышей следует отбирать доминирующие виды.

Увеличение содержания ХОП в организмах, находящихся на разных ("соседних") трофических уровнях, можно выразить коэффициентом межуровневого накопления поллютантов (К_{мн}), который рассчитывается как отношение концентрации ХОП в организме-индикаторе более высокого уровня к содержанию пестицидов в индикаторе предыдущего. Коэффициенты межуровневого накопления токсикантов дают возможность ускорить процесс биоиндикации. Определив содержание пестицидов в организме вида-индикатора какого-либо трофического уровня, с помощью этих коэффициентов его можно рассчитать и для других звеньев, т. е. в дальнейшем, при мониторинге загрязнения исследованных экосистем, отпадает необходимость проведения сотен анализов для определения концентрации ХОП в биообъектах всех уровней; достаточно сравнительно небольшого количества анализов для уточнения теоретически рассчитанных величин (табл. 4).

Для расчета межуровневых коэффициентов накопления токсикантов необходим выбор видов-индикаторов для каждого трофического уровня. При этом, как уже говорилось выше, нужно учитывать уровень обменных процессов в организме того или иного вида животных. Так, из двух исследованных в Карпатском заповеднике видов земноводных у пятнистой саламандры ДДТ обнаружен в концентрациях в 10 раз больших, чем у карпатского тритона, что объясняется,

Таблица 4. Коэффициенты межуровневого накопления (Кмн) суммарного ДДТ в исследованных биоценозах

Table 4. Interlevel accumulation factors of total DDT in studied ecosystems

Заповедник	Звенья трофической цепи	Кмн
Карпатский заповедник	Почва—растения (разнотравье)	762
	Растения—насекомые	59
	Семена бука—грызуны (мозг желтогорлой мыши)	15
	Насекомые—амфибии (мышцы пятнистой саламандры)	3
	Насекомые—насекомоядные (жир землеройки обыкновенной)	12
Черноморский биосферный заповедник	Почва—растения (разнотравье)	2400
	Растения—насекомые	288
	Растения—грызуны (жир лесной мыши)	4083
	Насекомые—насекомоядные (жир землеройки обыкновенной)	20
	Насекомые—птицы (жир взрослой серой вороны)	30
Госзаповедник "Росточье"	Почва—растения (разнотравье)	3650
	Растения—насекомые	46
	Растения—грызуны (жир желтогорлой мыши)	1388
	Насекомые—амфибии (прудовая лягушка)	19
	Насекомые—насекомоядные (жир землеройки обыкновенной)	57
Госзаповедник "Михайловская целина"	Почва—растения (разнотравье)	357
	Растения—насекомые	96
	Растения—грызуны (гонады лесной мыши)	612

вероятно, более низким уровнем ее обменных процессов по сравнению с мелкими и относительно более подвижными тритонами. Это дало основание использовать этот вид как индикаторный при расчете межуровневого коэффициента в трофической цепи "насекомые — амфибии". Принцип учета уровня обмена в организме использован при расчете межуровневого коэффициента в трофической цепи "насекомые — птицы". Известно, что у взрослых птиц обмен веществ ниже, чем у птенцов (Познанин, 1979), вследствие чего они кумулируют ХОП в больших концентрациях. Это дало основание использовать при расчете Кмн взрослых особей серой вороны. Коэффициенты межуровневого накопления, рассчитанные для биоценозов четырех заповедников, приведены в таблице 4.

Сказанное выше касается критериев, по которым следует выбирать виды-индикаторы в пределах одной трофической группировки. При выборе биоиндикаторов в пределах трофической цепи нужно учитывать особенности конкретного биоценоза. Так, в Карпатском заповеднике одним из основных кормовых объектов грызунов являются семена бука, чем, в основном, и обуславливаются здесь колебания их численности. Семена бука, являясь очень калорийной пищей по сравнению с семенами, которыми питаются грызуны в других регионах, содержат большее количество липидов и, вследствие этого, кумулируют в себе значительные количества ХОП ($9,0 \times 10^{-3}$ мг/кг), поступающие в организм грызунов. При количественном сравнении накопленных ХОП в организме желтогорлой мыши (консумент I порядка) и землеройки обыкновенной (консумент II порядка), ткани которой теоретически должны быть загрязнены в 10 раз больше, чем зерноядной желтогорлой мыши, существенные различия не обнаружены.

В заповеднике "Росточье" насекомоядные кумулируют в два раза большие количества ДДТ, чем грызуны, что соответствует теории увеличения концентраций стойких поллютантов в каждом последующем звене трофической цепи. Поэтому, следуя принципу выбора вида-индикатора по достаточно высокому уров-

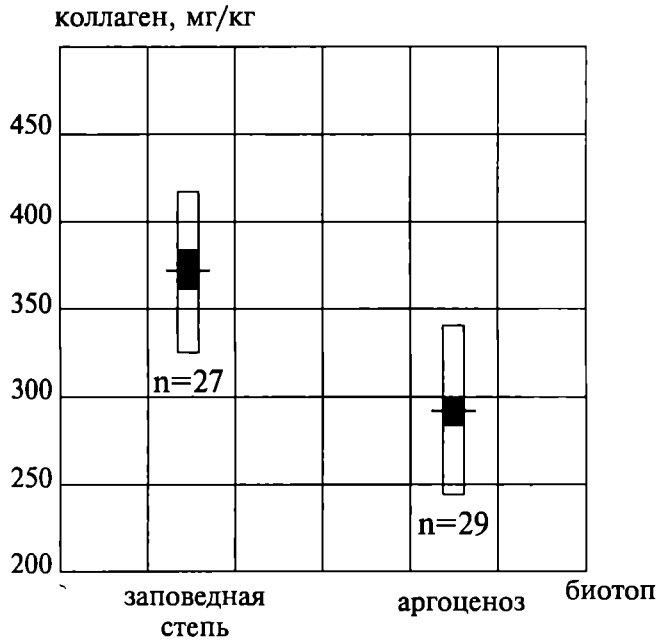


Рис. 1. Содержание коллагена в костях позвоночника лесной мыши. Вертикальной линией показан размах колебаний признака (вариационный ряд); горизонтальная линия — среднее арифметическое; вверх и вниз от него отложены стандартные ошибки (серые прямоугольники) и квадратичные отклонения (белые прямоугольники).

Fig. 1. Content of collagen in back-bones of *Apodemus sylvaticus*. The vertical line shows the range of variation (variation series), the horizontal one shows the arithmetic mean. To the up and to the down are depicted the standard errors (gray rectangles) and standard deviations (white rectangles).

ню содержания ХОП в тканях, для заповедника "Росточье", где не наблюдаются какие-либо существенные особенности в трофике, можно было бы рекомендовать в качестве организма-индикатора землеройку обыкновенную.

Однако, учитывая, что численность мышей в заповеднике существенно более высокая, чем насекомоядных, предлагается в качестве вида-индикатора использовать доминирующий здесь вид — желтогорлую мышь.

Для Карпатского заповедника, где значительную часть кормовых ресурсов грызунов составляют семена бука, кумулирующие высокие концентрации ХОП, можно рекомендовать зерноядных грызунов (желтогорлая мышь), хотя и являющихся консументами первого порядка, но, вследствие особенностей питания, накапливающих ХОП примерно в тех же количествах, что и консументы второго порядка.

Таким образом, в пределах биоценоза выбор видов-индикаторов обусловлен рядом особенностей, которые необходимо учитывать в каждом конкретном случае.

При проведении мониторинга особо важна одновременная регистрация показателей, относящихся к фактору воздействия и биологическому отклику. Поэтому, наряду с определением уровня накопления токсикантов в организме животного, нами изучались некоторые физиолого-биохимические характеристики.

Известно, что хроническое действие сублетальных концентраций ХОП значительно понижает содержание коллагена в позвоночнике животного, что сопровождается деформацией, ломкостью, дисгармонией развития организма. Эту закономерность подтверждают полученные нами результаты.

Исследования проводили на территории заповедника "Михайловская целина" и, для сравнения, в агроценозах. Объектом исследования послужила лесная мышь.

Как и следовало ожидать, в почве и биообразцах, отобранных в агроценозах, ДДТ и ГХЦГ обнаружены в больших концентрациях (в 1,5–3 раза), чем в пробах из заповедника. В организме лесной мыши из агроценоза кумуляция ДДТ также была выше, чем в организме грызунов того же вида из заповедных биоценозов (3,64 и 1,76 мг/кг, соответственно), при этом содержание коллагена в костях позвоночника было достоверно ниже на 20% ($t=6,82$ при $p<0,05$), (рис. 1).

Таким образом, применение специфического теста на интоксикацию ХОП показало, что существующее загрязнение среды этими веществами оказывает отрицательное влияние на организм животного.

Выводы

1. С помощью химического метода исследований (газовая хроматография) определены уровни накопления ХОП в компонентах экосистем 4 заповедников, находящихся в различных географических зонах Украины. Представлена картина количественного содержания, миграции и трансформации токсикантов в трофических цепях этих экосистем. На основании материалов по метаболизму ХОП в абиотической среде и в организме животных (преобладание во многих пробах неразложившегося ДДТ) можно сделать вывод о продолжающемся поступлении токсиканта в окружающую среду, что, вероятно, связано с его глобальным переносом, а также с локальным загрязнением.

2. С учетом предъявляемых требований (химических и биологических) выявлены виды-индикаторы загрязнения заповедных экосистем ХОП. Как показали исследования, при выборе животного-индикатора в пределах какого-либо трофического уровня в качестве биоиндикатора следует выбирать виды, обладающие более низким (по сравнению с другими видами) уровнем обмена веществ; детоксикация и выведение токсикантов из их организмов происходит медленнее и в результате они накапливают большие количества этих веществ. Косвенными признаками пониженного уровня обмена являются более крупные размеры тела, меньшая подвижность, возраст (взрослые особи).

3. Для каждого из заповедников по содержанию токсикантов в организмах исследованных животных (в том числе и видов-индикаторов) рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) и коэффициенты межуровневого накопления (Кмн) хлорорганических пестицидов, отражающие общие закономерности их количественного распределения и миграции в трофических цепях биоценозов. Использование этих коэффициентов позволяет ускорить процесс биоиндикации в исследованных экосистемах в дальнейшем, так как вместо проведения сотен анализов необходимо будет проверить теоретически рассчитанные величины анализом небольшого количества образцов.

4. Следствием повышенного содержания ХОП в организмах животных является нарушение у них белкового обмена, специфическим показателем которого служит уменьшение количества коллагена в костях позвоночника. По полученным данным, при увеличении в организме количества ДДТ с 1,76 (на заповедной территории) до 3,64 мг/кг (в агроценозе) количество коллагена снижается на 20% (с 363,4 до 290,7 мг/г).

5. В качестве показателей состояния наземных теплокровных, обитающих в условиях загрязнения среды ХОП, можно рекомендовать химико-биологические данные (содержание ХОП в организмах видов-индикаторов) и физиолого-биохимические (содержание белка коллагена в костях позвоночника).

- Васьковская Л. Ф.* Циркуляция и трансформация хлор-, фосфор-, ртутьпроизводных препаратов в системе "окружающая среда—биологический объект". — Киев : Наук. думка, 1985. — 156 с.
- Воронова Л. Д., Денисова А. В., Пушкарь И. Г.* Система контроля за загрязненностью природной среды пестицидами за рубежом. — М., 1977. — 63 с.
- Злобин Н. Н., Степанов А. М., Фролов В. А., Шипунов Ф. Я.* Методика биоиндикационных измерений содержания тяжелых металлов в компонентах природных экосистем // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. — М. : Наука, 1982. — С. 103–105.
- Неронов В. М., Тушинский С. Г., Семенова Т. Ю.* Биосферные заповедники и глобальный мониторинг окружающей среды // Итоги науки и техники. — М. : ВИНТИ, 1983. — Т. 14. — С. 198–205.
- Плохинский Н. А.* Биометрия. — Новосибирск : Изд-во АН СССР, 1961. — 362 с.
- Познанин Л. П.* Эколого-морфологический анализ онтогенеза птенцовых птиц. — М. : Наука, 1979. — 296 с.
- Францевич Л. И.* Обработка результатов биологического эксперимента на микро-ЭВМ "Электроника БЗ–21". — Киев : Наук. думка, 1979. — 91 с.
- Хроматография в биологии и медицине* // Тез. докл. I Всесоюз. конф. М., 21–25 ноября 1983 г. — М., 1983. — С. 27.
- Шоттгер Р. А.* Регистрация пестицидов: некоторые соображения о проведении тестов по определению токсичности в воде // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. — Л. : Наука, 1979. — С. 154–168.
- Farwar M. T., Wasif A.* Destruction of aquatic and terres-trial ecosystems by pesticides in developing countries: Implic. pesticide use trop. frechwater and terrestr // Inform. Workshop. Meet. Cent. Overseas Pest. Res. — London, 1976. — P. 2–3.
- Mayer F. L., Mehrle P. M., Dwyer W. P.* Toxaphene effects on reproduction, growth and mortality of brook trout // Environ. prot. Agency (U. S.). Ecol. Res. Ser. EPA-600/3–75–013. — 1975. — P. 1–43.
- Mayer F. L., Mehrle P. M., Schoettger R. A.* Collagen metabolism in fish exposed to organic chemicals. Recent advances in fish toxicology: a symposium // Environ. prot. Agency (U. S.). Ecol. Res. Ser. EPA-600/3–77–085. — 1977. — P. 31–54.
- Mehrle P. M., Mayer F. L.* Toxaphene effects on growth and bone composition of fathead minnows, Pimephales promelas // Environ. prot. Agency (U. S.). Ecol. Res. Ser. EPA-600/3–77–085. — 1975. — 32, № 5. — P. 593–598.
- Moore N. W.* A pesticide monitoring system with special reference to the selection of indicator species // The Journal of Applied Ecology. — 1966. — 3. — P. 261–269.