

УДК 632.95.028

**О. В. Маслова, Н. А. Шебунина****ВОЗМОЖНЫЕ КРИТЕРИИ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
НАЗЕМНЫХ БИОЦЕНОЗОВ СТОЙКИМИ ТОКСИКАНТАМИ**

Изменения в некоторых элементах биосферы, происшедшие за последние десятилетия вследствие резкого усиления воздействия человека на природу, сравнимы, по мнению ученых, с естественными процессами, протекающими тысячи и даже миллионы лет (Израэль, 1979). Столь интенсивная, часто приводящая к негативным последствиям эксплуатация природы диктует необходимость получения объективной информации о современном (фактическом) состоянии биосферы.

Одним из антропогенных факторов, отрицательно влияющих на фаунистические комплексы, являются пестициды, постоянно поступающие в окружающую среду при наземных и авиахимобработках сельскохозяйственных территорий, лесов и пр., а также в процессе глобального переноса.

Возрастающую роль в загрязнении биосферы играют стойкие токсиканты, в частности хлорорганические пестициды (ХОП) — ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ, дилдрин и др., стоящие на первом месте среди отнесенных к наиболее опасным для биоты химическим соединениям (Holden, 1975). Положение усугубляется тем, что, несмотря на запрещение наиболее токсичных ХОП, например ДДТ, в большинстве стран Европы и Северной Америки, масштабы их производства и использования увеличиваются за счет применения в сельском хозяйстве развивающихся стран (Farwar, Wasif, 1976). При этом побочные и отдаленные последствия их циркуляции в экосистемах — пути включения в биологический круговорот, закономерности накопления, трансформации и детоксикации в биообъектах, влияние на различные системы организма животных, на популяции в целом, — остаются малоизученными.

В этой ситуации важным является выбор критериев оценки, во-первых, загрязнения среды, и, во-вторых, ответной реакции на него биологических систем разного уровня организации. Подобные критерии можно использовать в биологическом мониторинге загрязнения окружающей среды стойкими поллютантами, при проведении которого особо важна одновременная регистрация показателей, относящихся к фактору воздействия и биологическому отклику. Это обеспечивает привязку друг к другу всех наблюдений, характеризующих состояние биосферы как целостной системы и обоснование прогноза этого состояния на будущее (Федоров, 1975). В данном случае наблюдения являются основой диагностической фазы мониторинга.

С. С. Шварц (1976) считает подходящими в качестве конкретных показателей условий среды содержание химических веществ в различных тканях организмов разных трофических уровней. В исследовании отклика, реакции биологических объектов на загрязнение в настоящее время все шире используются физиолого-биохимические показатели состояния организма, по которым, при достаточном количестве материала, можно судить и о состоянии популяций.

Установление зависимости между показателями, указывающими, с одной стороны, на изменение состояния природной среды (степени ее загрязненности), а с другой, на изменение биологических реакций организма, позволит составить представление о состоянии исследуемых биоценозов, а накопление подобных данных в течение ряда лет явится мониторингом их загрязнения.

Цель данной работы — выявление зависимости между накоплением мигрирующих в экосистемах ХОП и некоторыми вызываемыми им физиолого-биохимическими изменениями в организме мышевидных грызунов, обитающих в агроценозах и на заповедных территориях.

В качестве физиолого-биохимического теста избран один из показателей белкового обмена — содержание в костях коллагена, основного волокнистого белка сое-

Таблица 1. Накопление и распределение ДДТ, его метаболитов и ГХЦГ в почве и растениях заповедной степи «Аскания-Нова» и прилегающих агроценозов (средние данные, мг/кг)

Проба	ДДТ	ДДД	ДДЭ	Σ-ДДТ	α-ГХЦГ	γ-ГХЦГ	ГХЦГ
Заповедная степь							
Почва	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,17 \cdot 10^{-5}$
Разнотравье	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,55 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$
Агроценоз							
Почва	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-5}$	$0,21 \cdot 10^{-4}$	$0,118 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$0,12 \cdot 10^{-5}$	$0,92 \cdot 10^{-5}$
Люцерна	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,13 \cdot 10^{-1}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$

динительной и костной ткани. Определенное соотношение коллагена и минеральных веществ придает костной ткани твердость и упругость, имеет также большое значение в общем развитии и созревании животных. Работами американских исследователей (Mayer et al., 1975; Mayer et al., 1977; Mehrle et al., 1975; Шоттгер, 1979) показано, что хроническое действие сублетальных концентраций токсафена (аналог ДДТ) значительно понижает содержание белка коллагена в позвоночнике рыб, следствием чего является его деформация, ломкость, дисгармония развития организма. Установлено, что подобная реакция специфична при интоксикации хлорорганическими соединениями и, таким образом, может служить тестом на отравление организма этими веществами.

Исследования проводили в весенне-осенний сезоны 1984—1985 гг. в агробиоценозах и для сравнения на заповедных, теоретически «чистых» в отношении загрязнения пестицидами, территориях лесостепной и степной зон УССР.

Объектом исследования послужили мышевидные грызуны — полевка общественная (*Microtus socialis* Pall.) и лесная мышь (*Apodemus sylvaticus* L.). Грызунов отлавливали давилками, живоловками Тышлеева при раскапывании нор. Всего было проанализировано по химическим и биохимическим методикам около 1100 образцов.

Пробы почвы и растений (зеленая масса), являющихся объектом питания грызунов, отбирали в пяти точках исследуемого биотопа в трех повторностях в следующих количествах: почва — по 0,5 кг, растения — по 0,1—0,3 кг в навеске. Пробы органов и тканей грызунов (мышцы, печень, мозг, гонады, жир) отбирали в среднем в 10 повторностях.

Хлорорганические пестициды из гомогенизированных навесок тканей экстрагировали н-гексаном. Очищенные и обезвоженные экстракты анализировали на газовом хроматографе «Цвет-106» с детектором по захвату электронов (Хроматография в биологии и медицине, 1983).

Количество коллагена в позвоночнике грызунов определяли по Мерлу и Майеру (Mehrle, Mayer, 1975)\*. Выделенный позвоночник (7 первых позвонков позвоночного столба) тщательно очищали от мышечной ткани, высушивали и взвешивали. Для удаления клеточного материала, органических и минеральных составляющих кости и влаги позвонки последовательно подвергали проводке через ряд растворов. Оставшуюся часть кости (коллаген) высушивали и взвешивали. Делением сухой массы коллагена на сухую массу кости, использованной для анализа, рассчитывали количество коллагена в кости (в мг/г).

Статистическая обработка полученных результатов проведена по программам, разработанным Л. И. Францевичем (Францевич, 1979). Поправка на малую выборку определялась по таблице Стьюдента с вероятностью выхода за пределы доверительных границ 5 % ( $p=0,05$ ) (Плохинский, 1961).

В результате проведенных исследований установлено, что, несмотря на запрещение применения в сельском хозяйстве, существенную роль в загрязнении как заповедных территорий, так и агроценозов Украины

\* Методика передана американскими специалистами советским ученым в рамках советско-американского сотрудничества в области охраны окружающей среды.

Таблица 2. Накопление и распределение ДДТ, его метаболитов и ГХЦГ в почве и растениях заповедной степи «Михайловская целина» и прилегающих агроценозов (средние данные, мг/кг)

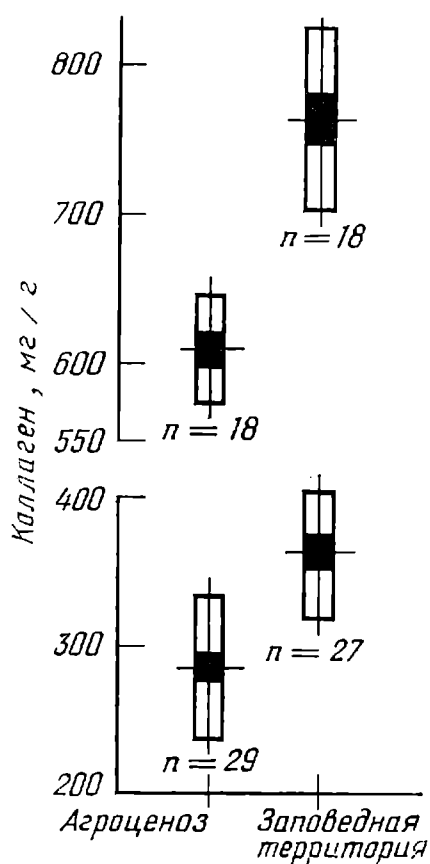
Проба	ДДТ	ДДД	ДДЭ	Σ-ДДТ	α-ГХЦГ	γ-ГХЦГ	Σ-ГХЦГ
Абсолютно заповедная степь							
Почва	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$
Разнотравье	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$
Периодически скашиваемая степь							
Почва	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,13 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Разнотравье	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,0	$0,24 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Ежегодно скашиваемая степь							
Почва	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-7}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$
Разнотравье	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
Агроценозы							
Почва	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-5}$
Сахарная свекла	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$

продолжает играть ДДТ. По нашим данным, концентрации этого пестицида в почве и биообразцах на 2—3 порядка превышают таковые ГХЦГ (табл. 1 и 2). Это, во-первых, можно объяснить длительностью его сохранения в почве (10 и более лет) (Мельников, 1968; Друй и др., 1971; Бобовникова и др., 1978), во-вторых, вторичным загрязнением почв, связанным с поступлением загрязнителя из атмосферы, что, по-видимому, является основной причиной глобального загрязнения почв ДДТ (Бобовникова и др., 1980). Во всех проанализированных биообразцах преобладал собственно ДДТ, а не продукты его разложения — метаболиты ДДД и ДДЭ, что свидетельствует о недавнем его привносе в биоценозы.

Мигрируя в трофических цепях почва — растение — организм грызуна, ДДТ достигает высокой степени кумуляции в органах и тканях, богатых липидами — жире, мозге и гонадах (в отдельных пробах до 10 мг/кг) (табл. 3). Как и следовало ожидать, в почве и биообразцах, отобранных на заповедных территориях, ДДТ и ГХЦГ обнаружены в меньших концентрациях (в 1,5—3 раза), чем в пробах из агроценозов.

Таблица 3. Сравнительное содержание ХОП (мг/кг) в организме общественной полевки и лесной мыши из различных ценозов (средние данные)

Органы, ткани	Общественная полевка		Лесная мышь	
	ДДТ	ГХЦГ	ДДТ	ГХЦГ
Заповедная территория				
Жир	0,88	0,0040	1,76	0,0032
Мозг	0,56	0,0020	1,72	0,0025
Гонады	0,80	0,0010	3,06	0,0078
Печень	0,20	0,0016	0,48	0,0074
Мышцы	0,12	0,00009	0,13	0,0001
Агроценоз				
Жир	2,59	0,0727	3,64	0,0095
Мозг	1,04	0,0203	2,37	0,0068
Гонады	0,85	0,0067	4,68	0,1518
Печень	0,20	0,0037	0,79	0,0020
Мышцы	0,14	0,0047	0,35	0,0008



Содержание коллагена (мг/г) в костях позвоночника общественной полевки (I) и лесной мыши (II), обитающих на заповедных территориях и прилегающих агроценозах; вертикальной линией показан размах колебаний признака (вариационный ряд), горизонтальная линия — среднее арифметическое. Вверх и вниз от него отложены стандартные ошибки (черные прямоугольники) и квадратические отклонения (белые прямоугольники). I — верхняя часть рисунка, II — нижняя.

Сравнительно невысокое содержание ХОП в почве и растениях обследованных территорий не превышает предельно допустимых концентраций этих токсикантов для почв и кормов. Однако, накапливаясь в организме грызунов, ХОП вызывают его интоксикацию тем более сильную, чем выше их кумуляция.

Показателем такой интоксикации может служить снижение содержания коллагена в костях позвоночника общественной полевки и лесной мыши из агроценозов по сравнению с его количеством у грызунов заповедных территорий.

Как видно из рисунка, у зверьков из агроценозов, кумуляция ХОП в организме которых выше, чем у грызунов заповедных биоценозов, содержание коллагена в костях позвоночника достоверно ниже — на 21 % у полевок ( $t=8,86$ ) и на 20 % у лесных мышей ( $t=6,82$ ). Эти результаты согласуются с литературными данными об уменьшении количества коллагена при длительном воздействии на организм сублетальных концентраций ХОП (Mayer et al., 1975; 1977; 1978; Mauk et al., 1978).

Следует отметить, что несмотря на выявленные видовые различия в содержании коллагена у грызунов, обитающих на «чистых» в отношении пестицидов заповедных территориях, — у общественной полевки оно значительно выше, чем у лесной мыши ( $762,7 \pm 15,4$  и  $363,4 \pm 6,9$  мг/г соответственно), — ответная реакция обитателей агроценозов на загрязнение одинакова у обоих видов и количественно выражается в снижении содержания коллагена на 20—21 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что изученные биоценозы загрязнены стойкими ХОП. Низкая степень метаболизации ДДТ (преобладание собственно ДДТ) указывает на постоянное поступление этого препарата в окружающую среду, что скорее всего, связано с глобальными процессами его переноса. Следствием кумуляции стойких ХОП в организме животных является нарушение белкового обмена, специфическим показателем которого может служить содержание коллагена в костях позвоночника, отражающее силу действия фактора загрязнения.

Данные по накоплению стойких токсикантов в различных элементах абиотической среды и биоты, сопоставленные с показателями происходящих под их воздействием физиолого-биохимических нарушений в организме животных, могут служить критериями характеристики и оценки состояния биоценозов. Подобные данные, накопленные в течение ряда лет, могут быть использованы в целях мониторинга загрязнения изучаемых биоценозов.

Бобовникова С. И., Вирченко Е. П., Малахов С. Г. К вопросу о глобальном загрязнении природных сред хлорорганическими пестицидами // Опыт и методы экологического мониторинга. — Пушино, 1978. — С. 201—208.

Бобовникова С. И., Малахов С. Г., Махонько Э. П. Система наблюдения и контроля за уровнем загрязнения почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Тр. II Всесоюз. совещ., Обнинск, нояб., 1978 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — С. 5—19.

- Газохроматографический метод идентификации хлорорганических пестицидов // Хроматография в биологии и медицине: Тез. докл. I Всесоюз. конф., М., 21—25 нояб.— М., 1983.— С. 27.*
- Друй Э. Г., Хохрякова В. С., Гар К. А. и др. Продолжительность сохранения и метаболизм ДДТ в почве: Тез. II Всесоюз. совещ. по исследованию остатков пестицидов и профилактике загрязнения ими продуктов питания, кормов и внешней среды.— Таллин, 1971.— С. 260—263.*
- Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды.— Л.: Гидрометеиздат, 1979.— 368 с.*
- Мельников Н. Н. Химия пестицидов.— М.: Химия, 1968.— 435 с.*
- Плохинский Н. А. Биометрия.— Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1961.— 362 с.*
- Федоров В. Д. Роль эксперимента для обоснования и осуществления биологического мониторинга // Докл. на рабочей группе по проекту № 14 программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера».— М., 1975.*
- Францевич Л. И. Обработка результатов биологического эксперимента на микро-ЭВМ «Электроника БЗ-21».— Киев: Наук. думка, 1979.— 91 с.*
- Шварц С. С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования // Всесторонний анализ окружающей природной среды: Тр. II Сов.-амер. симпоз.— Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 181—191.*
- Шоттгер Р. А. Регистрация пестицидов: некоторые соображения о проведении тестов по определению токсичности в воде // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистема водоемов.— Л.: Наука, 1979.— С. 154—168.*
- Farwar M. T., Wasif A. Destruction of aquatic and terrestrial ecosystems by pesticides in developing countries: Implic. pesticide use trop. freshwater and terrestr // Inform. Workshop. Meet. Cent. Overseas Pest. Res.— London, 1976.— P. 2—3.*
- Holden H. Monitoring persistent organic pollutants // Organochlorine Insecticides.— 1975.— P. 1—26.*
- 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 // Ibid. Ser. EPA-600/3-77-085.— 1977.— P. 31—54.*
- Mayer F. L., Mehrle P. M., Crutcher P. L. Interactions of toxaphene and vitamin C in channel caffish // Trans. Am. Fish. Soc.— 1978.— 107, N 2.— P. 326—333.*
- Mauk W. L., Mehrle P. M., Mayer F. L. Effects of the polychlorinated biphenyl Aroclor 125 on growth survival and bone development in brook trout (Salvelinus Fontinalis) // J. Fish. Res. Bd. Can.— 1978.— 35.— P. 1084—1088.*
- Mehrle P. M., Mayer F. L. Toxaphene effects on growth and bone composition of fathead minnows, Pimephales promelas // Ibid.— 1975.— 32, N 5.— P. 593—598.*

Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена  
АН УССР (Киев)

Получено 16.06.86

УДК 591.185.1 : 595 : 799

Ю. Л. Неведомский, Л. И. Францевич, И. А. Левченко, В. В. Баранчук

## ПОИСКОВЫЕ ДВИЖЕНИЯ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ

### 2. ПОИСК АРОМАТИЗИРОВАННОГО КОРМА В НЕПОДВИЖНОМ ВОЗДУХЕ

Локализация источника запаха занимает значительное место в ориентационном поведении насекомых. Такие жизненно важные функции как питание, размножение, поиск жилища и др. у многих насекомых прямо зависят от эффективности ориентации по запаху.

В настоящее время выделяют две категории механизмов локализации химического источника — прямой и непрямой. Прямой (хемотропизм) представляет собой движение по химическому градиенту. Непрямая хемоориентация включает движение по дополнительным источникам ориентиров (зрительные стимулы, ветер и др.), и управляется концентрацией.

Продолжая исследовать поисковые движения медоносных пчел, мы рассматривали такие условия, в которых насекомое получало ольфакторную информацию о расположении цели поиска, но было лишено дополнительных источников ориентации. Целью нашей работы является выявление влияния ароматизации корма на поисковое поведение пчел.