

УДК 504.054:621.039.7+599.4
© 2005

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗООГЕННОГО ВЫНОСА РАДИОНУКЛИДОВ РУКОКРЫЛЫМИ

О.Л. Орлов

Россия, г. Екатеринбург, УГПУ – ИЭРиЖ УрО РАН

А.И. Смагин, О.В. Тарасов

Россия, г. Озерск, ФГУП “ПО “Маяк”

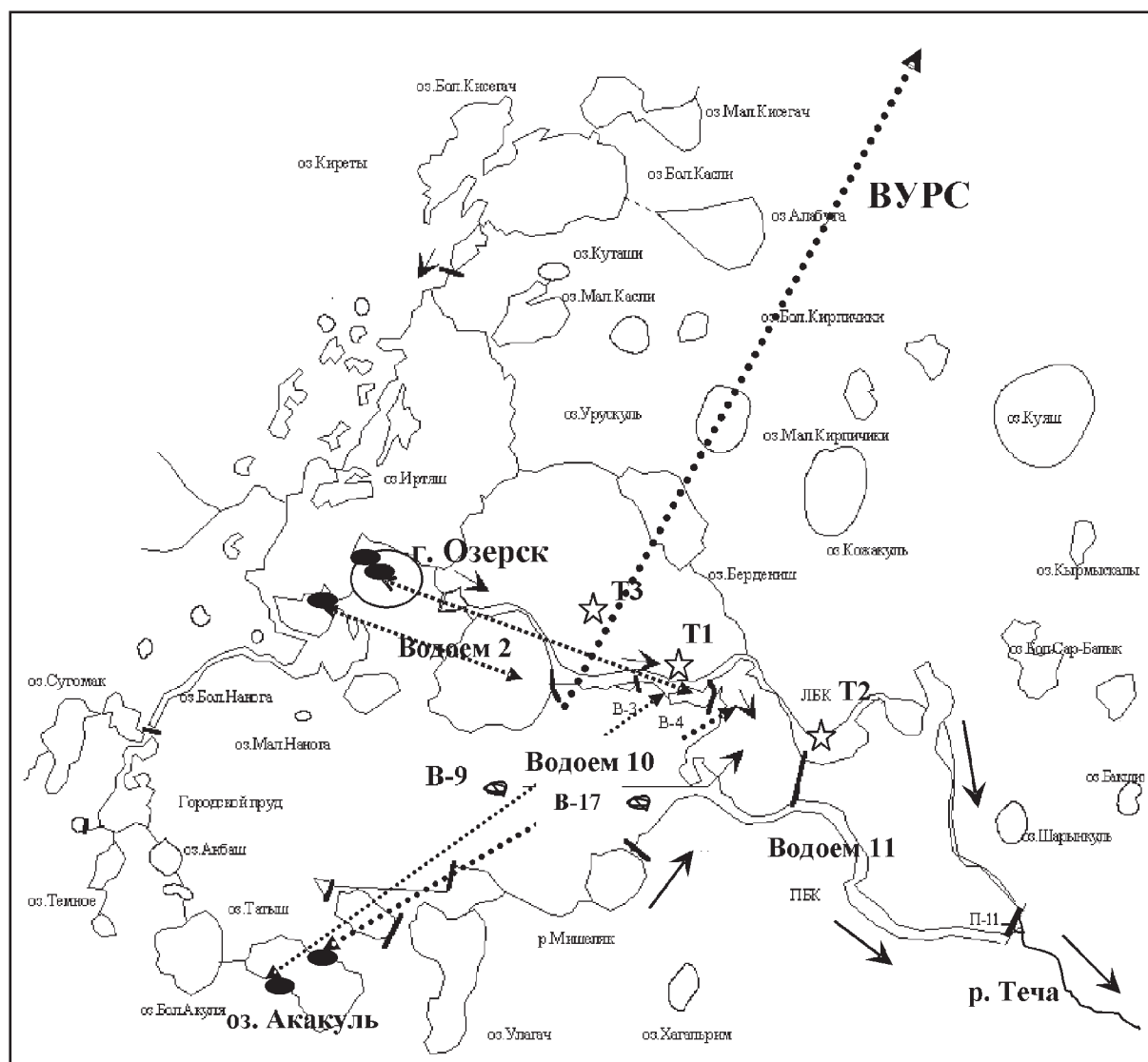
Приведены результаты исследования феномена формирования рукокрылыми (*Chiroptera*) локальных очагов радиоактивного загрязнения, расположенных в отдалении от возможных источников радиации. Установлено, что указанные очаги формируются в местах базирования летних выводковых колоний трех видов летучих мышей: *Myotis dasycneme*, *Eptesicus nilssonii*, *Vespertilio murinus*. Определен изотопный состав радионуклидов. Анализируются гипотезы попадания радионуклидов в организмы летучих мышей. Показано, что основным путем зоогенного выноса является цепочка: вода водоемов – водные насекомые, обитающие в промышленных водоемах ПО “Маяк” – рукокрылые – помет рукокрылых. Описывается механизм формирования летучими мышами очагов радиоактивного загрязнения.

Эффект радиоактивного загрязнения жилых помещений, расположенных на берегу оз. Карачай в отдалении от возможных источников радиации, был обнаружен в 1993 г. Очаги превышения радиационного фона локализованы, главным образом, между стенами и внешней обшивкой стен, в местах стыка стен с потолком и крышей, на чердаках зданий. Вскрытие стен показало, что источником излучения явились каловые массы (гуано) летучих мышей – животных, относящихся к отряду рукокрылых (*Chiroptera*)*. Тушки отловленных зверьков также имели повышенные уровни удельной активности радионуклидов. Впервые радиоэкологический феномен загрязнения жилых строений рукокрылыми был описан О.В. Тарасовым и др. [1]. Авторы работы предполагают, что источником радионуклидного

загрязнения летучих мышей является вода из водоема хранилища среднеактивных отходов оз. Карачай (В-9) (рис. 1). Пролетая над поверхностью воды, летучие мыши утоляют жажду [2]. По мнению авторов статьи, эту гипотезу подтверждают данные исследования изотопного состава каловых масс животных, в которых были обнаружены короткоживущие радионуклиды, присутствующие в воде оз. Карачай [1].

Озеро Акакуль расположено приблизительно в 15 км к юго-западу от основной группы технологических водоемов ПО “Маяк”, его акватория и прибрежные территории не пострадали в результате радиационных инцидентов, произошедших на предприятии в 50-е гг. XX века [3] (рис. 1). Озеро является местом отдыха жителей не только близлежащих

* Рукокрылые – животные мелких и средних размеров, способные к настоящему длительному и маневренному полету. Этому способствуют анатомические особенности скелета и мышечной системы. У животных очень хорошо развиты слух и осязание, зрение развито хуже. В пространстве животные ориентируются с помощью эхолокации. Обитающие на Урале летучие мыши питаются насекомыми, уничтожают большое количество вредителей леса и кровососущих насекомых. Зимуют летучие мыши в убежищах при положительных температурах. На Урале естественные места зимовок – пещеры. Сезонные миграции летучих мышей, обитающих на Урале, к местам зимовок могут составлять сотни километров. Продолжительность жизни животных достигает 20 лет. У летучих мышей хорошо развит инстинкт дома – хоминг.



- Колонии рукокрылых
- Маршруты перелетов
- Направление водотоков
- ★ Т1 Точки отлова насекомых

Рис. 1. Схема района исследований

городов – Озерска и Кыштыма, но и уральских областных центров – Челябинска и Екатеринбурга. Сразу после дозиметрического обследования помещений были проведены дезактивационные работы, которые позволили снизить уровень радиоактивного излучения в сотни и тысячи раз до значений принятых нормативов.

Однако, эффект дезактивации носил временный характер. Через несколько лет радиоактивное загрязнение дезактивированных помещений достигло прежнего уровня, летучие мыши вновь поселились на чердаках и под крышей в дезактивированных деревянных строениях. Впоследствии очаги радиоактивного загрязнения, сформированные в результате жизнедеятельности рукокрылых, были обнаружены в строениях, расположенных на берегу оз. Иртяш и в г. Озерске. Проблема зоогенного выноса радионуклидов, имеющая большое научное и практическое значение, не изучена подробно до настоящего времени.

Целью работы является исследование механизмов зоогенной миграции в процессе формирования рукокрылыми локальных радиоактивных очагов. В задачи исследования входило:

- определение видового состава рукокрылых, особенностей их пространственного расселения и численности в районе исследований;
- изучение трофического взаимодействия рукокрылых с насекомыми, как потенциальными пищевыми объектами.
- поиск и установление локальных очагов радиоактивного загрязнения, сформированных при участии рукокрылых, определение уровня радиоактивного загрязнения и радионуклидного состава загрязнений;
- определение видовой специфики в накоплении различных радионуклидов и в формировании очагов радиоактивного загрязнения разными видами рукокрылых.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются летучие мыши, их помет, насекомые, составляющие пищевую базу летучих мышей, вода водоемов. Основные исследования проводились в летние месяцы с 1999 по 2004 гг.

Отлов летучих мышей осуществляли во время их вечернего и утреннего пика активности (в 22³⁰–00³⁰ ч. и в 4⁰⁰–5³⁰ ч.) специальными паутиными ловчими сетями. Животных усыпляли хлороформом или эфиром. С помощью переносных радиометров и дозиметров ДБГ-06Т, СРП-68-01, ДРГ-107Ц измеряли мощность экспозиционной дозы γ -излучения (МЭД) и плотности потока β -частиц (ППБЧ) с поверхности тушек.

Определяли видовую принадлежность и производили анатомирование животных, отмечая состояние внутренних органов, определяли пол, возраст [4], у самок – наличие беременности, эндо- и эктопаразитов. У вскрытых животных отделяли печень, отбирали пробы остатков пищи из желудка и кишечника, снимали шкурку, в ряде случаев грубо очищали костный каркас.

Для выявления мест базирования летних колоний и зимовок летучих мышей в пещерах Среднего и Южного Урала проводился анализ литературных данных. Зимой в 1999–2000 гг. проводили экспедиционные работы по выявлению зимующих животных. Были обследованы Аракаевская и Смолинская пещеры (Свердловская область), пещера у горы Сугомак (Челябинская область). В летний период для выявления выводковых колоний обследовали районы озер Акакуль, Татыш и Иртяш, окрестности городов Озерск, Кыштым, Касли и поселка Новогорный. Для выявления зимовок и летних колоний летучих мышей опрашивали население.

Помимо этого, вели ночное наблюдение за летучими мышами, охотившимися в лесных массивах и над поверхностью исследуемых озер и промышленных водоемов-накопителей ПО “Маяк” на р. Теча с одновременным отловом насекомых. Для сбора насекомых использовали стандартные зоологические методики: отлов нападающих на человека кровососущих комаров, кошение беспозвоночных с прибрежной растительности с помощью энтомологического сачка, проведение экскурсии вдоль берега озера и взятие проб водных беспозвоночных животных [5, 6], отлов светолушкой. Время сбора беспозвоночных – с 23⁰⁰ до 5⁰⁰ ч., что соответствует времени активного лёта рукокрылых, а также в дневное время. Отлов насекомых осуществляли в августе 2003 г. двумя светолушками

собственной конструкции в двух точках поймы промышленных водоемов и на “сухопутном” участке, в местах активного лёта рукокрылых (рис. 1):

– точка Т1 расположена на левом берегу протоки между водоемами В-3 и В-4, в 100 м ниже плотины водоема В-3. Отлов насекомых проводили светоловушкой, оснащенной фонарем “Осрам” с люминисцентной лампой, 25 Вт, и сачком в свете автомобильных фар;

– точка Т2 расположена в 100 м на север от плотины водоема В-10 (между водоемами В-10 и В-11). Отлов насекомых проводили светоловушками, оснащенными галогеновой лампой 220 V, 200 Вт, и сачком в свете светоловушки. Использовали вторую светоловушку, оснащенную фонарем “Осрам” с люминисцентной лампой 25 Вт;

– точка Т3 расположена на сухопутном участке в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа. Отлов насекомых проводили светоловушкой, оснащенной фонарем “Осрам” с люминисцентной лампой 25 Вт.

На точках Т1, Т2, Т3 (рис. 1) было отобрано 11 проб, представляющих смесь насекомых разных видов. Затем проводили определение таксономической принадлежности насекомых [7]. Определяли удельную активность проб отловленных насекомых.

Для проведения радиохимических и радиометрических измерений образцов пробы высушивали при температуре 70 °С до постоянной массы, озоляли в муфельной печи при температуре не выше 300 °С. Затем определяли удельную активность ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$ стандартизованными радиохимическими и радиометрическими методами, прошедшими Государственную аттестацию на аттестованных приборах. Концентрацию радионуклидов выражали в беккерелях (Бк) на грамм (килограмм) воздушно-сухой массы вещества или золы.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи пакетов STATISTICA for Windows и STATGRAPHICS 5.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетние полевые наблюдения и анализ литературных данных показывает, что на исследуемой территории обитает 8 видов летучих

мышей, принадлежащих к 6 родам семейства гладконосых или обыкновенных [1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Наиболее часто встречаются: прудовая ночница (*Myotis dasycneme*), северный кожанок (*Eptesicus nilssonii*), двухцветный кожанок (*Vespertilio murinus*), ночница Брандта (*Myotis brandtii*) и усатая ночница (*Myotis mystacinus*) – виды-двойники, водяная ночница (*Myotis daubentonii*), бурый ушан (*Plecotus auritus*), нетопырь Натзуисуса (*Pipistrellus nathusii*).

Феномен формирования очагов радиоактивного загрязнения летучими мышами связан с биологическими особенностями этой группы животных [12]. Одной из особенностей рукокрылых является хоминг – инстинкт дома. Животные из года в год стремятся занимать одни и те же ранее выбранные убежища и находят путь к ним, зачастую преодолевая значительные расстояния. Питаются обитающие на Урале летучие мыши насекомыми, уничтожают большое количество вредителей леса и кровососущих насекомых.

Летом 1999–2002 гг. нами проводился отлов прудовой ночницы (*Myotis dasycneme*) и северного кожанка (*Eptesicus nilssonii*) на территории базы отдыха “Волна” и пионерлагеря “Орленок” (восточный берег оз. Акакуль). Животных, летающих в непосредственной близости от мест базирования колоний, отлавливали ловчими сетями. Было отловлено 62 особи. Проведенное на месте отлова измерение МЭД и ППБЧ показало, что уровни радиоактивного загрязнения животных во много раз превышают фоновые значения (табл. 1).

Из представленных в табл. 1 и 2 данных следует, что удельная активность ^{90}Sr в тушках животных многократно превышала уровень фона. Значения ППБЧ и удельная активность ^{90}Sr в тушках прудовых ночниц достоверно выше, чем у северных кожанков.

У прудовых ночниц отмечены достоверные отличия по этим показателям между двумя возрастными группами (сеголетки и взрослые особи) (табл. 3 и 4).

Значения МЭД и удельная активность тушек животных достоверно выше у взрослых особей. Вероятно, это связано с возможностью взрослых животных пролетать большие расстояния в поисках пищи по сравнению с сеголетками.

Анализ полученных данных и Информа-

Таблица 1

Результаты измерений ППБЧ, МЭД и удельной активности ^{90}Sr в тушках прудовых ночниц и северных кожанков

Виды		Данные внешней дозиметрии		Концентрация ^{90}Sr , Бк/г возд.-сух. веса
		ППБЧ, β -частиц/ $\text{см}^2\cdot\text{мин}$	МЭД, мкР/ч	
Прудовая ночница	min	19	12	10
	max	2896	257	1098
	среднее	451	34	279
	n	47	46	46
Северный кожанок	min	12	11	2,2
	max	114	26	178
	среднее	47	20	24
	n	13	8	14

Примечание. n – количество исследованных животных.

Таблица 2

Достоверность различий между двумя видами рукокрылых по результатам измерений ППБЧ, МЭД и удельной активностью ^{90}Sr (результаты дисперсионного анализа)

Параметры	MS		F (df 1,2) 1,52	Уровень значимости
	Между группами	Внутри групп		
ППБЧ, β -частиц/ $\text{см}^2\cdot\text{мин}$	1664791	282136	5,9	0,018
МЭД, мкР/ч	1435	458	3,1	0,082
^{90}Sr , Бк/г	664996	67217	9,9	0,003

Таблица 3

Возрастные различия в накоплении радионуклидов по результатам измерений ППБЧ, МЭД и удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках прудовых ночниц

Возрастная группа		Данные внешней дозиметрии		Радионуклид, Бк/г	
		ППБЧ, β -частиц/ $\text{см}^2\cdot\text{мин}$	МЭД, мкР/ч	^{90}Sr	^{137}Cs
Сеголетки	min	19	12	10	3,1
	max	1748	32	661	43,8
	среднее	196	20	130	14,8
	n	16	15	15	8
Взрослые особи	min	40	12	15	1,5
	max	2896	114	1098	16,3
	среднее	583	41	351	8,6
	n	31	31	31	18

Таблица 4

Достоверность различий между двумя возрастными группами прудовых ночниц по результатам измерений ППБЧ, МЭД и удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs (результаты дисперсионного анализа)

Параметры	MS		F (df 1, 2) 1,24	Уровень значимости
	Между группами	Внутри групп		
ППБЧ, β -частиц/см ² ·мин	1583062	327350	4,84	0,033
МЭД, мкР/ч	4828	425	11,37	0,002
^{90}Sr , Бк/г	553105	75075	7,37	0,009
^{137}Cs , Бк/г	211	83	2,56	0,123

ция, приведенная в литературе по пищевой специализации прудовых ночниц и северных кожанков, а также особенности состава радионуклидов, аккумулированных животными, позволяют сделать вывод, что источником радионуклидов, поступающих в организм животных, могут являться технологические водоемы ПО “Маяк”. Промежуточным звеном между водоемами и летучими мышами служат развивающиеся в этих водоемах насекомые. Летучие мыши, обитающие на Урале, питаются насекомыми во время полета. Летают летучие мыши с открытой пастью. Используя эхолокацию и слух, животные ищут скопления насекомых. Летучие мыши могут преследовать отдельных крупных насекомых, но это происходит достаточно редко. Летом периодически происходят массовые вылеты насекомых, личиночная стадия которых проходит в водной среде – хирономид и поденок. После вылета из воды насекомые скапливаются в рои, насчитывающие тысячи и миллионы особей. Обладая хорошим слухом, летучие мыши способны обнаружить рой насекомых на значительном расстоянии.

Летом 2003 г. на двух “околоводных” и одном “сухопутном” участке в местах кормежки рукокрылых проводили отлов насекомых (рис. 1), таксономический состав выборок насекомых приводится в табл. 5.

Из приведенных в табл. 5 данных следует, что в пищевом рационе летучих мышей, кормящихся в обследованном районе, преобладают

хирономиды (комары, развитие личинок которых проходит в водной среде). Результаты измерений удельной активности проб, представляющих смесь насекомых различных видов, представлены в табл. 6.

По оценкам А.А. Передельского и И.О. Богатырева [14] вынос радионуклидов насекомыми из водоемов, имеющих радиоактивное загрязнение, может быть очень значительным. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что насекомые, личиночная стадия которых проходит в воде – в технологических водоемах ПО “Маяк”, могут накапливать радионуклиды и, следовательно, передавать их летучим мышам по пищевой цепи. Данный путь загрязнения летучих мышей позволяет объяснить разницу между *M. dasycneme* и *E. nilsoni* в мощности дозы и в накоплении радионуклидов: прудовые ночницы охотятся над поверхностью озер, их пищей являются насекомые, развивающиеся в воде, в то время, как северные кожанки питаются над сушей и существенно могут “разбавлять” свой рацион “чистыми” насекомыми (табл. 6). Очевидны причины межвозрастных различий прудовых ночниц – взрослые особи могут летать на большие расстояния и с возрастом накапливают больше радионуклидов.

Сопоставление данных по удельной активности воды промышленных водоемов, насекомых, рукокрылых и их помёта (рис. 2) свидетельствует о повышении удельной активности ^{90}Sr в ряду: вода–насекомые–рукокрылые–помёт.

Таблица 5

Таксономический состав насекомых на трех точках отлова

Т1	Сухопутные	1). отр. Lepidoptera, сем. Noctuidae – 2 шт. 2). Златоглазка (отр. Neuroptera, сем. Chrysopidae, Chrysopa sp.) – 1 шт. 3). Тупулиды – 1 шт. 4). отр. Нуменоптера, сем. Braconidae – 1 шт. 5). отр. Coleoptera, сем. Silphidae – 1 шт.
	Водные	1). Ручейники (отр. Trichoptera) – 35 шт. 2). отр. Coleoptera, сем. Hydrophilidae, Hydrous sp. – 1 шт. 3). отр. Diptera, сем. Chironomidae – ∞ – Более 99 % от общей массы в точке отлова.
Т2	Сухопутные	1). отр. Diptera, сем. Syrphidae – 3 шт. 2). Тупулиды – 1 шт. 3). сем. Alucitidae, Alucita sp. – 3 шт. 4). отр. Lepidoptera, сем. Noctuidae – 2 шт. 5). отр. Lepidoptera, сем. Tineidae – 5 шт. 6). отр. Нуменоптера, сем. Braconidae – 2 шт. 7). отр. Chemiptera, сем. Pentatomidae – 1 шт.
	Водные	<u>Не хирономиды</u> : 1). отр. Hemiptera, сем. Coreixidae – 2 шт. 2). Ручейники (отр. Trichoptera) – 5 шт. <u>Хирономиды</u> (отр. Diptera, сем. Chironomidae) – ∞ – Более 99 % от общей массы в точке отлова.
Т3	Сухопутные	1). отр. Нуменоптера, сем. Braconidae – 9 шт. 2). отр. Diptera, сем. Syrphidae – 2 шт. 3). отр. Lepidoptera, сем. Tineidae – 1 шт. 4). отр. Chemiptera, сем. Miridae – 1 шт. 5). сем. Trypetidae, Euribia cardui – 1шт. – 67 % (поштучно). Более 99 % от общей массы в точке отлова.
	Водные	1). отр. Diptera, сем. Chironomidae – 6 шт. 2). отр. Diptera, сем. Culicidae – 1 шт.

Таблица 6

Удельная активность радионуклидов в пробах насекомых (Бк/г возд.-сух. массы)

Точка отлова насекомых	Удельная активность					
	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr		
	min	max	Среднее	min	Max	Среднее
Т1	3	489	130	8	71	43
Т2	3	949	318	34	113	77
Т3			1,6*			2,1*

Примечание. В Т3 “сухопутный участок” была отобрана одна проба насекомых разных видов.

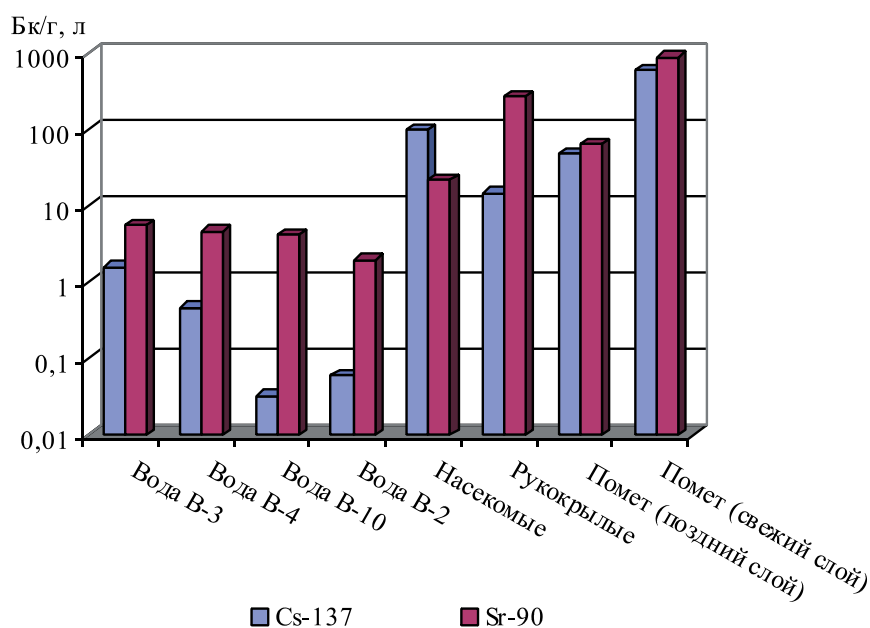


Рис. 2. Удельная активность воды промышленных водоемов, насекомых, рукокрылых и их помёта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в местах базирования летних выводковых колоний все отловленные летучие мыши имели повышенные уровни радиоактивного загрязнения. Очаги радиоактивного загрязнения формируют три вида летучих мышей, это: прудовая ночница, северный кожанок и двухцветный кожанок.

Удельная активность ^{90}Sr и ППБЧ тушек животных достоверно выше у прудовых ночниц по сравнению с северными кожанками, и эти особенности связаны с биологией питания. Сеголетки прудовых ночниц имеют гораздо меньшие уровни ППБЧ и удельную активность ^{90}Sr , чем взрослые особи.

Радионуклиды, находящиеся в воде и донных отложениях технологических водоемов ПО «Маяк», накапливаются в организмах развивающихся там насекомых. Затем, по достижении насекомыми стадии имаго, радионуклиды выносятся за пределы водных экосистем. Питаясь радиоактивными насекомыми, летучие мыши накапливают в организме значительные

количества радионуклидов. Радионуклиды накапливаются в многолетних отложениях помета летучих мышей в местах базирования летних выводковых колоний.

Анализ данных по динамике выявленных пятен загрязнений показывает, что число пятен, имеющих повышенные уровни загрязнения радионуклидами в результате зоогенного переноса, увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов О.В., Покаржевский А.Д., Мартюшов В.З. Перенос радионуклидов летучими мышами // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. – М.: Наука, 1998. – С. 347–353.
2. Кузякин А.П. Летучие мыши. – М.: Сов. Наука, 1950. – 444 с.
3. Смагин А.И., Антонова Т.А., Денисов А.Д. и др. Уровни радиоактивного загрязнения водоемов в зоне влияния ПО «МАЯК». // Вопросы радиационной безопасности. – Озерск, 2000. – № 1. – С. 24–30.

4. Млекопитающие фауны СССР / Сост. И.М. Громов и др. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – Ч. 1. – 639 с.
5. Гиляров М.С., Перель Т.С. Изучение беспозвоночных как компонента биогеоценоза // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1966. – С. 163–194.
6. Гуцевич А.В., Мончадский А.С., Штакельберг А.А. Комары (семейство Culicidae) // Фауна СССР, Насекомые двукрылые. – Л.: Наука, 1970. – Т. 3, вып. 4. – 384 с.
7. Григорьев А.К. К фауне рукокрылых Удмуртской республики // Актуальные проблемы биологии: тез. докл. молодеж. конфер. – Сыктывкар, 1998. – С. 44–45.
8. Курсков А.Н. Рукокрылые охотники. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 136 с.
9. Стрелков П.П., Ильин В.Ю. Рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) юга Среднего и Нижнего Поволжья // Тр. АН СССР. Зоол. ин-т. – 1990. – Т. 225. – С. 42–167.
10. Bolshakov V.N. & Orlov O.L. Fauna of the Ural Bats // Bats and Man: 8-th Europ. Bat Res. Sympos., 23–27 Aug., 1999, Krasow. – Poland: Abstr. Krasow, 1999. – 8 p.
11. Орлов О.Л. Усатая ночница или ночница Брандта? (краниометрический анализ) // Развитие идей академика С.С. Шварца в современной экологии: Материалы конф. – Екатеринбург: Екатеринбург, 1999. – С. 124–128.
12. Смагин А.И., Тарасов О.В., Любашевский Н.М., Орлов О.Л. Роль рукокрылых в зоогенной миграции радионуклидов. // Вопросы радиационной безопасности. – Озерск, 2000. – № 3. – С. 64–70.
13. Снитько В.П. Зимовка рукокрылых в пещерах Челябинской области // Plecotus et al. – 1999. – № 2. – С. 121–122.
14. Передельский А.А., Богатырев И.Ю. Радиоактивное загрязнение земель насекомыми, вылетающими из загрязненных водоемов // Изв. АН ССР. Сер. биол. – 1959. – № 2. – С. 97–98.

Работа выполнена при поддержке Государственного контракта РИ-112/001/249.