

О ТРАНСГРАНИЧНОМ ПЕРЕНОСЕ РАДИОНУКЛИДОВ ЛЕТУЧИМИ МЫШАМИ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

^{1,2}Смагин А.И., ³Чеботина М.Я., ³Гусева В.П., ⁴Орлов О.Л.

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск,
e-mail: smagin54@mail.ru;

²ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики»

Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, Озерск;

³Институт экологии растений и животных Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург;

⁴ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Тюмень

В работе приводятся результаты исследований уровней радиоактивного загрязнения летучих мышей (Chiroptera) из двух местообитаний в районе расположения радиационно опасного предприятия Производственного объединения «Маяк» на севере Челябинской области. Колонии рукокрылых располагались вне зоны радионуклидной геохимической аномалии на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения, под крышами построек на входе в городской парк г. Озерска и под крышами зданий лагеря отдыха недалеко от г. Кыштыма. Уровни радиоактивного загрязнения животных из выводковых колоний на севере Челябинской области в районе Кыштыма и Озерска варьировали в широких пределах при средних значениях для Озерска 31 ± 3 и 11 ± 2 , а Кыштыма – 341 ± 47 и 28 ± 15 кБк/кг для ^{90}Sr и ^{137}Cs соответственно. Контролем служили животные, обитающие на территории Свердловской области, у которых удельная активность соответствовала радиационному фону и составляла по накоплению ^{90}Sr и ^{137}Cs ~ 0,005 кБк/кг. Значительная часть летучих мышей из обоих местообитаний, расположенных на севере Челябинской области, по содержанию радионуклидов превышала статус радиоактивных отходов. В г. Озерске эта доля превышения по ^{137}Cs составила 38% от общего числа отловленных тушек животных, в лагере отдыха их доля составила 62% по ^{90}Sr и 37% по ^{137}Cs . Трансграничный перенос искусственных радионуклидов рукокрылыми на значительные расстояния и скопление животных в выводковых колониях вдали от источников загрязнения могут представлять угрозу облучения человека.

Ключевые слова: трансграничный перенос, радионуклиды, концентрации, восточный склон Южного Урала, Челябинская область, ПО «Маяк», летучие мыши, г. Озерск, лагерь отдыха

ON THE CROSS-BORDER TRANSFER OF RADIONUCLIDES BY BATS IN THE AREA OF THE LOCATION OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE ENTERPRISE

^{1,2}Smagin A.I., ³Chebotina M.Ya., ³Guseva V.P., ⁴Orlov O.L.

¹Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: smagin54@mail.ru;

²South Ural Institute of Biophysics of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Ozersk;

³Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg;

⁴Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tyumen

The article presents the results of studies of the levels of radioactive contamination of bats (Chiroptera) from two habitats in the area of the location radiologically hazardous enterprise of the Production Association "Mayak" in the north of the Chelyabinsk region. Colonies of bats were located outside the zone of radionuclide geochemical anomaly in territories without elevated levels of radioactive contamination, under the roofs of buildings at the entrance to the park in Ozyorsk town and under the roofs of recreation camp buildings near Kyshtym town. The levels of radioactive contamination of animals from breeding colonies in the north of the Chelyabinsk region in the area of Kyshtym and Ozyorsk varied widely, with average values for the city of Ozyorsk being 31 ± 3 and 11 ± 2 , and for the city of Kyshtym – 341 ± 47 and 28 ± 15 kBq/kg for ^{90}Sr and ^{137}Cs respectively. Animals inhabiting the territory of the Sverdlovsk region served as the control, in which the specific activity corresponded to the radiation background and amounted to ~ 0.005 kBq/kg in terms of accumulation of ^{90}Sr and ^{137}Cs . A significant part of bats from both habitats located in the north of the Chelyabinsk region exceeded the status of radioactive waste in terms of the content of radionuclides. In the city of Ozyorsk, this proportion of ^{137}Cs excess was 38% of the total number of captured animal carcasses; in the rest camp, their share was 62% for ^{90}Sr and 37% for ^{137}Cs . Transborder transport of artificial radionuclides by bats over considerable distances and the accumulation of animals in brood colonies away from sources of pollution can pose a threat to the effects of ionizing radiation on humans.

Keywords: transboundary transport, radionuclides, concentrations, eastern slope of the Southern Urals, Chelyabinsk region, PO "Mayak", bats, Ozersk, recreation camp

В конце 1940-х гг. начало работу предприятие ядерного оборонного комплекса ПО «Маяк» на севере Челябинской области [1]. Заводы размещались на восточном склоне Уральских гор на границе Среднего и Южного Урала.

В 1940-х гг. технологиями производства ядерного оружия владели только США, в СССР и других ведущих странах мира подобные технологии отсутствовали. После бомбардировки в августе 1945 г. городов Хиросимы и Нагасаки перед нашей страной возникла сверхзадача – в кратчайшие сроки создать ядерный щит нашей страны [2, с. 44–53]. Ускоренные темпы строительства, разработка и запуск новых технологий в производство явились причиной ряда радиационных инцидентов в начале – середине 1950-х гг. на новом ядерном комплексе заводов. В результате в зоне воздействия предприятия сформировалась радионуклидная геохимическая аномалия [2, с. 85–86]. Известно, что поступившие в геосферу искусственные радионуклиды, вовлекаясь в геохимические процессы, мигрируют с воздушными и водными потоками на большие расстояния, накапливаются в почве, донных отложениях, а также организмах биоты. Накапливая радиоактивные вещества, животные и птицы могут мигрировать на большие расстояния. В настоящее время известно, что техногенные радионуклиды могут накапливаться в организмах рукокрылых (Chiroptera) [3]. Особенности накопления и переноса радиоактивных веществ летучими мышами до конца не изучены до настоящего времени.

Целью работы является исследование особенностей радионуклидного загрязнения летучих мышей из двух местообитаний на Южном Урале и их роль в миграции радионуклидов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись рукокрылые, накапливающие значительные концентрации техногенных радионуклидов, а предметом – трансграничный перенос радиоактивных веществ за пределы радионуклидной геохимической аномалии в организме животных.

Летучие мыши – животные, способные к длительному полету. У рукокрылых небольшая плодовитость, поэтому многие виды занесены в Красные книги и подлежат охране. На территории Челябинской об-

ласти массовыми видами летучих мышей, которые не занесены в Красную книгу, являются прудовая ночница *Myotis dasycneme* (Boie, 1825), двухцветный кожан *Vespertilio murinus* (L., 1758), северный кожанок *Eptesicus nilssonii* (Key. Et Blas., 1839) [4]. Эти виды авторы использовали для проведения исследований. Отлов животных проводили у строений на входе в городской парк г. Озерска (береговая зона оз. Иртыш (55°46'42"с.ш., 60°42'24"в.д.) и деревянных строений лагеря отдыха в рекреационной зоне на берегу озера в районе г. Кыштыма (55°38'11"с.ш., 60°38'10"в.д.). Контрольной территорией являлся юг Свердловской области – окрестности г. Новоуральска, природного парка «Оленьи ручьи» (56°31'30"с.ш., 60°42'24"в.д.) и Смолинская пещера (56°25'47"с.ш., 61°36'40"в.д.). Поскольку обитающие на контрольной территории прудовая ночница и северный кожанок занесены в Красную книгу Свердловской области, в процессе проведения исследований были использованы животные, погибшие во время зимовки. При плановых учетах рукокрылых, зимующих в пещерах, авторами было собрано семь погибших во время зимовки особей прудовых ночниц в Смолинской пещере и одна погибшая особь северного кожанка на территории природного парка «Оленьи ручьи». В районе г. Новоуральска было отловлено 6 особей двухцветного кожана – вида, не занесенного в Красную книгу.

Для выявления выводковых колоний рукокрылых авторы проводили опросы населения и персонала лагерей и баз отдыха. Осматривали стены зданий для обнаружения помета рукокрылых, использовали ультразвуковые детекторы и дозиметры. Отлов животных проводили ряжевными сетями, развешенными напротив вылета животных из убежищ. Попавших в сеть животных освобождали, определяли вид и усыпляли с помощью эфира.

В г. Озерске на входе в городской парк были обнаружены крупные колонии импактных рукокрылых. В процессе многолетнего мониторинга уровней накопления радионуклидов рукокрылыми в период с 2001 по 2007 г. было отловлено более 40 особей. Для исследования поступления радионуклидов в организм животных было отобрано несколько сотен граммов сухих экскрементов летучих мышей. На территории лагеря отдыха в процессе мониторинговых наблюдений за радиационно-

опасной популяцией рукокрылых в период с 2013 по 2017 г. было отловлено 45 животных. В качестве контрольных использовали животных, отловленных на территории Свердловской области в 2011–2012 гг. [3]. Отловленных рукокрылых усыпляли эфиром, а затем определяли концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.6.1.0094-14 [5]. Определение концентрации ^{90}Sr осуществляли в соответствии с ГОСТ 32163-2013 [6], а ^{137}Cs – ГОСТ 32161-2013 [7]. Помет поштучно измеряли на низкофоновом β -радиометре МФ-60.

Статистическую обработку результатов измерений и расчеты коэффициентов вариации проводили, используя стандартные методы [8] и компьютерную программу STATISTICA [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Контрольные территории

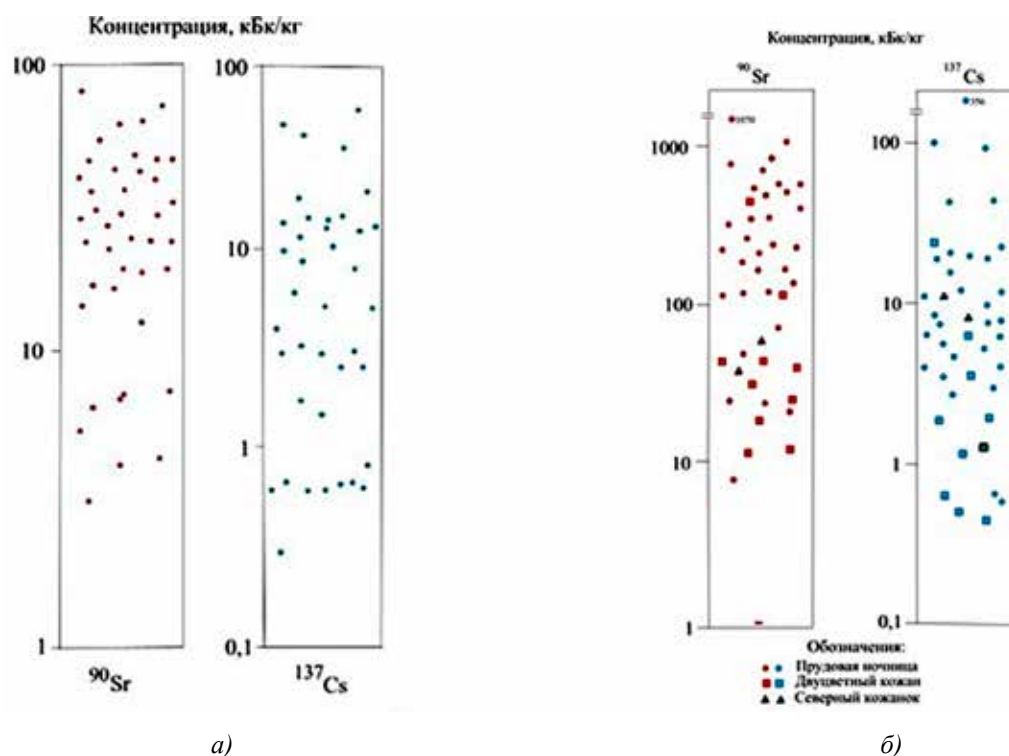
Для анализа на контрольных территориях были отобраны погибшие прудовые ночницы, двухцветные кожаны и северные кожаны. Концентрации радионуклидов в организмах летучих мышах приведены в таблице.

В организмах прудовых ночниц из природного парка «Оленьи ручьи» и Смолинской пещеры концентрация ^{90}Sr была в пределах 0,01–0,19 кБк/кг при среднем значении 0,05 кБк/кг. Близкое значение концентрации ^{90}Sr имели три особи двухцветного кожана из района Новоуральска, а у трех особей концентрация ^{90}Sr была выше на порядок величин (0,3–0,5 кБк/кг). Можно предположить, что некоторые животные из этой колонии в районе г. Новоуральска посещают более загрязненные радиостроением места, а другие же питаются на территориях с уровнями глобального радиационного фона. Концентрация ^{137}Cs во всех рукокрылых контрольной группы была ниже предела обнаружения (НПО).

Усредненные концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках контрольной группы летучих мышей, кБк/кг [3]

Вид (количество животных, шт.)	^{90}Sr	^{137}Cs
Прудовая ночница (12)	0,05± 0,02	НПО
Двухцветный кожан (6)	0,19± 0,08	НПО
Северный кожанок (1)	0,10*	НПО

Примечание. НПО – ниже предела определения (> 1 Бк/кг). *Одна особь.



Уровни концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках рукокрылых:

а) прудовых ночниц в г. Озерске, б) рукокрылых нескольких видов в лагере отдыха под Кыштымом

Авторами было установлено, что видовой состав выводковых колоний рукокрылых г. Озерска представлен одним видом – прудовая ночница. Ориентировочная численность животных составляет 400–500 особей. В выводковых колониях на территории баз отдыха авторами обнаружено три вида летучих мышей. В период мониторинговых наблюдений авторами было отловлено 32 особи прудовых ночниц, 11 двухцветных кожанов и 2 северных кожанка. На рисунке приведены результаты индивидуальных измерений концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках животных.

Город Озерск

Видно, что в указанный период концентрация ^{90}Sr в организмах животных варьировала в широких пределах – от 3 до 83 кБк/кг при среднем значении 31 ± 3 кБк/кг, а ^{137}Cs – от 0,3 до 63 кБк/кг при среднем значении 11 ± 2 кБк/кг. Примерно 80% животных содержали от 10 до 100 кБк/кг ^{90}Sr и от 1 до 20 кБк/кг ^{137}Cs . Прудовые ночницы из колоний в г. Озерске накапливали ^{90}Sr достоверно больше, чем ^{137}Cs ($p < 0,05$). Часть радионуклидов, поступивших с рационом в организм самок, за время беременности передается через плаценту зародышам. Эмбрионы прудовых ночниц из выводковых колоний г. Озерска содержали от 19,6 до 51 кБк/кг ^{90}Sr и от 20,4 до 60,7 кБк/кг ^{137}Cs .

При поштучном анализе 600 образцов экскрементов прудовых ночниц на β -активность выявлена вариабельность содержания радионуклидов: в 46% суммарная β -активность превышала фоновые значения в 1,5–2 раза, в 30% – от 2 до 10 раз, в 9% – более чем в 10 раз, в том числе в 3% случаев – в 100 и более раз. В образцах помета прудовых ночниц были обнаружены ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$, ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{154}Eu , $^{239,240}\text{Pu}$. Концентрации ^{90}Sr в основной массе проб экскрементов варьировали от 26 до 453 кБк/кг, а ^{137}Cs – от 17 до 73 кБк/кг. Однако некоторые пробы помета содержали на порядки более высокие концентрации радионуклидов, чем указано выше.

Лагерь отдыха под Кыштымом

Как и в г. Озерске, концентрация радионуклидов в организме рукокрылых отличалась значительной вариабельностью, достигающей в ряде случаев нескольких порядков величин. Так, концентрация ^{90}Sr в организмах прудовых ночниц варьировала от 8 до 1112 кБк/кг (среднее значение 341 ± 47 кБк/кг), а ^{137}Cs – от 0,7 до 356 кБк/кг

(среднее значение 28 ± 15 кБк/кг). В тушках двухцветного кожана минимальное содержание ^{90}Sr регистрировалось на уровне 0,2 кБк/кг, а максимальное – 400 при среднем значении 63 ± 40 кБк/кг. Для ^{137}Cs минимальные значения активности радионуклида были на грани предела обнаружения, а максимальные – 22 кБк/кг при среднем значении 4 ± 2 кБк/кг. Две особи северного кожанка содержали соответственно 48 и 36 кБк/кг ^{90}Sr и 11 и 0,8 кБк/кг ^{137}Cs . Как и в г. Озерске, тушки исследованных животных содержали достоверно больше ^{90}Sr , чем ^{137}Cs ($p \leq 0,05$).

Выводковые колонии импактных рукокрылых в г. Озерске и районе г. Кыштыма располагались за пределами радионуклидной геохимической аномалии на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения. В то же время все животные из исследованных колоний имели повышенные уровни накопления техногенных радионуклидов, а значительная часть летучих мышей по концентрациям ^{90}Sr и ^{137}Cs соответствовала статусу радиоактивных отходов. Так, у 38% мышей, отловленных на входе в парк г. Озерска, концентрация ^{137}Cs превышала уровень, регламентированный для радиоактивных отходов – 10 кБк/кг, концентрация ^{90}Sr у всех животных оказалась ниже статуса радиоактивных отходов – 100 кБк/кг в соответствии с Санитарными правилами ОСПОРБ-99/2010. В лагере отдыха под г. Кыштымом количество рукокрылых, в организмах которых концентрация ^{90}Sr соответствовала уровню радиоактивных отходов, составляло 62%, а ^{137}Cs – 37%. Что касается экскрементов, то значительная их часть также по уровню радиоактивного загрязнения относится к радиоактивным отходам. В некоторых деревянных строениях на стыках стен с крышей и чердаках регистрировались повышенные дозы ионизирующего излучения, достигавшие 3,5–8,0 мкЗв/ч, при этом радиационное загрязнение превышало допустимые пределы, регламентируемые нормами радиационной безопасности НРБ-99/10.

Расчеты показали, что концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs у прудовых ночниц (доминирующий вид рукокрылых) из колоний в г. Озерске имеют практически одинаковые коэффициенты вариации (C_v) – 62,6, а у животных из колоний в районе г. Кыштыма значения показателя по ^{90}Sr и ^{137}Cs составляли 87 и 137 соответственно. Различия в значениях C_v связаны с разнообразием факторов, влияющих на процесс накопления радионуклидов.

Не вызывает сомнений, что источником поступления техногенных радионуклидов является зона радионуклидной геохимической аномалии в районе расположения ПО «Маяк». Питание прудовых ночниц происходит в большей части насекомыми, цикл развития которых связан с водоемами. В зоне радионуклидной аномалии ПО «Маяк» расположены многочисленные водоемы с различной степенью загрязнения техногенными радионуклидами. В водоемах на периферии Восточно-Уральского радиоактивного следа концентрации техногенных радионуклидов в воде не превышают уровень вмешательства для ^{90}Sr – 5,5, а ^{137}Cs – 11 Бк/л по НРБ-99/10 [10], а в водоемах – хранилищах радиоактивных отходов этот показатель составляет > 1000 Бк/л [11]. Концентрация ^{90}Sr в реках на территории России составляет $\sim 0,006 < \text{Бк/л}$ [12].

На уровне накопления радиоактивных веществ животными влияют: структура рациона питания отдельных особей, избирательность питания по отношению к различным группам насекомых и другие факторы [13]. Когда численность насекомых в районе расположения выводковых колоний снижается, животные летают кормиться на более удаленные территории – в зону геохимической радионуклидной аномалии. Известно, что скорость полета прудовой ночницы составляет 500–600 м/мин. Такая скорость позволяет преодолеть расстояние до водоемов в зоне геохимической радиационной аномалии. Из колонии в г. Озерске животные могут достигнуть района водоема-охладителя ПО «Маяк» за 6–7 мин, а за 10–15 мин – Теченского каскада водоемов хранилища отходов (ТКВ). Из колонии в районе г. Кыштыма время полета в район водоемов ТКВ составляет 15–20 мин.

При дозиметрическом обследовании Аракаевской и Смолинской пещер, расположенных в Свердловской области, где зимуют тысячи зверьков, повышенных уровней радиоактивного загрязнения обнаружено не было. Животные с контрольных территорий имели значительно меньшее содержание ^{90}Sr – на уровне техногенного фона Урала и практически не накапливали ^{137}Cs по сравнению с животными из зоны воздействия ПО «Маяк».

Отсутствие радиоактивных рукокрылых и их помета в местах традиционных зимовок в Челябинской и Свердловской областях позволяет заключить, что зимуют животные в техногенных убежищах на территории промышленной площадки ПО «Маяк. Это

различные подземные коллекторы и долгие убежища с условиями, близкими к условиям пещер.

Ввиду присущей летучим мышам привязанности к местам своего летнего и зимнего обитания («хоминг») после работ по дезактивации чердаков зданий – мест базирования выводковых колоний рукокрылых, радиоактивные животные вновь заселяли выбранные места. Поэтому в местах проведения исследований была разработана и использована практика механического перекрытия всех входных отверстий, через которые животные имели доступ в убежища под крышами зданий. Поскольку в отряд рукокрылых входят многие редкие виды, нуждающиеся в охране, в подобных конфликтных ситуациях между человеком и животными следует разрабатывать специальные меры по переориентированию их в другие места базирования, в том числе создание искусственных убежищ, с помощью которых удастся переселить часть колоний на более удаленные от радиоактивного загрязнения территории.

Исследования накопления радионуклидов летучими мышами в районе аварии на Чернобыльской атомной станции, где загрязнение территории характеризуется высокой мозаичностью и отсутствием избирательного повышенного загрязнения водных экосистем, позволили установить, что рукокрылые, привязанные к водоемам, загрязнены не больше других млекопитающих [14].

Заключение

В зонах размещения крупных ядерных объектов, каким является Производственное объединение «Маяк» в Челябинской области, в результате производственной деятельности и аварийных ситуаций создаются условия для загрязнения радионуклидами окружающей среды, вследствие чего возможно накопление радионуклидов летучими мышами в количествах, достигающих в ряде случаев уровня радиоактивных отходов.

Трансграничный перенос радионуклидов рукокрылыми импактных популяций и обитание радиоактивных животных в выводковых колониях на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения, может создавать условия дополнительного радиационного облучения населения. Источниками излучения являются сами радиоактивные животные и особенно продукты их жиз-

недеятельности – помет, скапливающийся в течение десятков лет на чердаках зданий. При проведении контроля радиационной обстановки в районах, имеющих территории с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения, экологическим и санитарно-эпидемиологическим службам необходимо учитывать возможность транспорта искусственных радионуклидов животными на большие расстояния.

Список литературы

1. О предприятии «Маяк». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.po-mayak.ru/about> (дата обращения: 10.05.2023).
2. Смагин А.И. Ядерные взрывы и радиационные аварии: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. 116 с.
3. Смагин А.И., Чеботина М.Я., Орлов О.Л., Гусева В.П., Сидоркина О.М. Накопление радионуклидов рукокрылыми (Chiroptera) на Урале // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 6. С. 639–646.
4. Снитко В.П., Снитко Л.В. Рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) Южного Урала (Челябинская область) // Зоологический журнал. 2017. № 3. С. 320–349.
5. МР 2.6.1.0094-14 Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах: методические рекомендации. М., 2014. 42 с.
6. ГОСТ 32163-2013 Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. М., 2019. 7 с.
7. ГОСТ 32161-2013 Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. М., 2019. 7 с.
8. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
9. STATISTICA 10.0.1011 Eneterpise (x86/x64) [Электронный ресурс]. URL: <https://allsoft.top/statsoft-statistica/?yclid=H3charu10182601617> (дата обращения: 14.06.2023).
10. Смагин А.И. Гигиеническая оценка загрязнения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs воды и рыбы в озерах головной части периферийной зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа // Гигиена и санитария. 2023. № 3. С. 208–213.
11. Отчет по экологической безопасности ФГУП «ПО «Маяк» за 2017 год. Госкорпорация «Росатом», ФГУП «ПО «Маяк». Озерск: РИЦ ВРБ, 2018. 48 с.
12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2018. 376 с.
13. Первушина Е.М., Гизуллина О.Р. Опыт изучения избирательности питания *Vespertilio murinus* (Chiroptera, Vespertilionidae) // Экология. 2020. № 5. С. 397–400.
14. Гащак С.П., Влащенко А.С., Наглов А.В. Результаты изучения фауны и радиоактивного загрязнения рукокрылых Чернобыльской зоны отчуждения в 2007–2009 // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. 2009. Вып. 9. С. 102–124.